



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРЕЙФЕРА С ВИНТОВЫМ ЯКОРЕМ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОЧНЫХ ГРУНТОВ

Д. Г. Белицкий

*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.
E-mail: beldg@rambler.ru*

Получена 03 февраля 2020; принята 27 марта 2020.

Аннотация. В статье приведены результаты многолетних исследований грейферных рабочих органов для земляных работ. Обозначена отрасль применения грейферов для земляных работ и причины их недостаточно широкого использования. Предложен новый способ разработки грунта грейфером в замкнутом силовом потоке «рабочий орган – массив грунта – рабочий орган». Дано теоретическое обоснование эффективности рабочих процессов грейфера с винтовым якорем при разработке прочных грунтов. Изготовлена и испытана действующая конструкция грейферного ковша с приводным винтовым якорем. Представлены результаты проведенных натурных экспериментальных исследований данного рабочего органа. Подтверждено повышение коэффициента наполнения и снижение энергоемкости процесса копания на прочных грунтах за счет применения винтового якоря. Отмечено, что параметры массы и устойчивости базовой машины не являются главными определяющими параметрами процесса копания грейфером с винтовым якорем.

Ключевые слова: грейфер, земляные работы, прочный грунт, винтовой якорь.

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ ГРЕЙФЕРА З ГВИНТОВИМ ЯКОРЕМ ДЛЯ РОЗРОБКИ МІЦНИХ ҐРУНТІВ

Д. Г. Белицкий

*ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.
E-mail: beldg@rambler.ru*

Отримана 03 лютого 2020; прийнята 27 березня 2020.

Анотация. У статті наведені результати багаторічних досліджень грейферних робочих органів для земляних робіт. Позначена галузь застосування грейферів для земляних робіт і причини їх недостатньо широкого використання. Запропоновано новий спосіб розробки ґрунту грейфером у замкнутому силовому потоці «рабочий орган – масив ґрунту – рабочий орган». Надане теоретичне обґрунтування ефективності робочих процесів грейфера з гвинтовим якорем при розробці міцних ґрунтів. Виготовлена і випробувана діюча конструкція грейферного ковша з приводним гвинтовим якорем. Представлені результати проведених натурних експериментальних досліджень даного робочого органу. Підтверджено підвищення коефіцієнта наповнення і зниження енергоємності процесу копання на міцних ґрунтах за рахунок застосування гвинтового якоря. Відзначено, що параметри маси і стійкості базової машини не є головними визначальними параметрами процесу копання грейфером з гвинтовим якорем.

Ключові слова: грейфер, земляні роботи, міцний ґрунт, гвинтовий якорь.

THEORETICAL RESEARCH AND EXPERIMENTAL TESTING OF A SCREW ANCHOR GRAPPLER FOR THE FIRM GROUND DEVELOPMENT

Dmitriy Belitskiy

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

2, Derzhavin Str., Makeevka, DPR, 83123.

E-mail: beldg@rambler.ru

Received 03 February 2020; accepted 27 March 2020.

Abstract. The article presents the results of long-term research of grab working bodies for earthworks. The branch of application of grabs for earthworks and the reasons for their insufficiently widespread use are determined. A new method for developing soil with a grapple in a closed power flow «working body – soil array – working body» is proposed. The theoretical substantiation of the efficiency of working processes of a grapple with a screw anchor in the development of strong soils is given. A working design of a grappling bucket with a drive screw anchor was made and tested. The results of field experimental studies of this working body are presented. The increase in the filling coefficient and reduction of the energy intensity of the digging process on solid soils, due to the use of a screw anchor, have been confirmed. It is noted that the parameters of mass and stability of the base machine are not the main determining parameters of the process of digging with a grapple with a screw anchor.

Keywords: grapple, earthwork, strong ground, screw anchor.

Постановка проблемы

Выборочные обследования строительных организаций показали, что вручную, как правило, выполняются малообъемные земляные работы: разработка выемок (котлованов, ям, приямков, траншей) малых объемов на рассредоточенных мелких объектах; зачистка и планировка поверхностей малых объемов (площадей) – для котлованов, траншей, откосов; отрывка подпольных каналов, фундаментов под оборудование, кабельных вводов; обратная зачистка грунта под полы, в подушки фундаментов и работы, связанные с разработкой и перемещением грунта внутри сооружения.

Для разработки глубоких выемок с вертикальными стенами (котлованы, траншеи, колодцы, проходка шахт при строительстве инженерных коммуникаций и т. п.), обратной засыпки в стесненных условиях (вблизи стен зданий, внутри цехов при реконструкции предприятий и т. п.) эффективным рабочим оборудованием одноковшового экскаватора является грейфер (таб-

лица). Также грейфером можно производить очистные работы (очистка водоемов, рек, прудов, смотровых колодцев сетей водоснабжения и канализации) и погрузочно-разгрузочные работы (погрузка-разгрузка крупнокусовых материалов и грузов, уборка бытового и строительного мусора, ликвидация стихийных свалок).

Гидравлические земляные грейферы, на экскаваторах 2-й и 3-й размерных групп, не могут быть эффективно использованы на плотных грунтах, т. к. челюсти не погружаются на достаточную глубину. В момент смыкания челюстей режущие кромки скользят по поверхности земли.

Данную проблему может решить предлагаемый новый способ [1] разработки грунта грейфером в замкнутом силовом потоке «рабочий орган – массив грунта – рабочий орган». Применение винтового якоря, обеспечивающего замыкание силового потока, позволит решить важную задачу уменьшения энергоемкости и снижение требуемой массы всей базовой машины.

Таблица. Виды землеройных работ и область применения гидравлических экскаваторов с грейферным рабочим оборудованием

Вид землеройных работ	Отрасль применения
Разработка котлованов и траншей сложной конфигурации небольших размеров в стесненных условиях	Промышленное, гражданское, сельское строительство
Разработка выемок и прямиков в котлованах и траншеях	То же
Отрывка колодцев и геологоразведочных шурфов круглого и прямоугольного сечений глубиной до 20 м	Сельское строительство, строительство внутригородских подземных коммуникаций, разведка полезных ископаемых
Разработка глубоких выемок с вертикальными стенками (шахты, ямы и т. п.) на глубину до 20 м, в условиях застроенных площадей	Строительство подземных инженерных сооружений способом щитовой проходки (водопровод, канализация, теплосети и т. д.)
Разработка траншей вблизи зданий, выемок между опорами фундаментов, сваями и т. п.	Реконструкция промышленных предприятий, инженерных сооружений
Засыпка грунтом трубопроводов, кабелей и т. п. в траншеях; подсыпка грунта; обратная засыпка выемок в стесненных условиях	Промышленное, гражданское и другое строительство
Отрывка глубоких выемок под монолитные сваи, опоры электропередач, мостов и других инженерных сооружений, включая применение шпунтового ограждения и способа «опускного колодца»	Промышленное, транспортное, энергетическое, гражданское строительство

Анализ последних исследований и публикаций

Значительный вклад в экспериментальные исследования грейферных ковшей внес Н. N. Wilkinson [2]. Зарубежные ученые (S. Miedema, S. Becker, P. Jong, S. Wittekoek, M. Scheffler, G. Pajer, F. Kurth), предоставляя краткий обзор аспектов работы нескольких видов грейферного оборудования, делают вывод, что модели взаимодействия грунта и грейфера слишком упрощены или отсутствуют. Следует отметить, что эти теории [2, 3, 4, 5] относятся к канатным грейферам.

В Советском Союзе основополагающие работы по теории грейферных механизмов и крупные исследования по теории зачерпывания провел Б. А. Таубер [6]. Отечественные ученые Н. Г. Домбровский, А. Н. Зеленинин, Г. Н. Карасев, В. П. Павлов, В. В. Царицын также предлагают несколько теорий, которые можно использовать как основу для проведения расчетов взаимодействия гидравлических грейферных рабочих органов с грунтом [7, 8].

Значительные нагрузки на челюсти при их внедрении в массив, а также при их повороте для отрыва некоторого объема грунта не позволяют эффективно применять грейфер на грунтах выше III-й категории прочности [8, 9].

Патентный обзор глубиной более чем в 55 лет показал наличие конструкций специальных грейферных ковшей для выполнения работ на связ-

ных и прочных грунтах, которые можно разделить на три основные группы: снижающие сопротивление грунта внедрению [10, 11], увеличивающие напорные усилия [12, 12], использующие заякоревывающие силы [6, 14, 15].

Существующие теории разработки грунта грейферными рабочими органами [3, 4, 5, 6, 7] не учитывают использование в конструкции ковшов винтового якоря.

Принцип работы винтового якоря описал в середине XIX века английский инженер Александр Митчелл [16]. Подробное описание принципов взаимодействия винтовых свай и якорей с грунтом приводят в своих работах В. Н. Железков, В. А. Пенчук, С. В. Лебедев и другие ученые [17, 18, 19, 20].

Целью статьи является подтверждение технической возможности и эффективности разработки грунта грейферным рабочим органом с приводным винтовым якорем на основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований.

Основной материал. Описание исследования

Напорное усилие (P_{np}), создаваемое на режущих кромках грейферного рабочего органа, определяется из условия равновесия экскаватора относительно ребра опрокидывания (точки А на рис. 1). Равнодействующая развиваемого

Применение центрального винтового якоря позволяет обеспечивать дополнительное усилие ($P_{я}$) достаточное для разработки прочных грунтов, при этом оно не зависит от параметров экскаватора и растет прямо пропорционально увеличению прочности массива грунта [8, 18].

Экспериментальные исследования грейферного ковша вместимостью $q = 0,25\text{ м}^3$ оснащенного винтовым якорем, проводились на грунтах IV-й категории (рис. 2). Копание производилось без напорных усилий со стороны экскаватора.

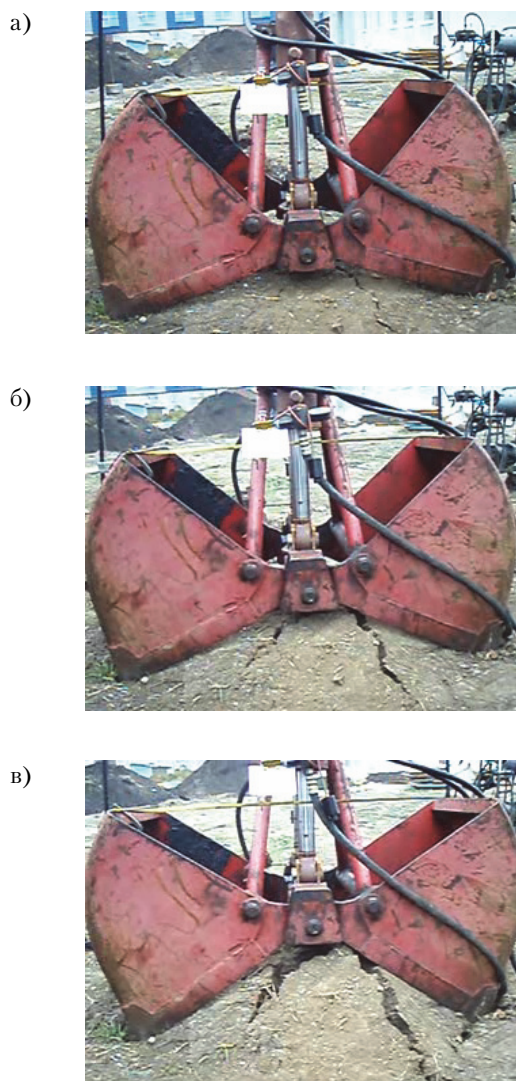


Рисунок 2. Характерные этапы разработки грунта грейфером с винтовым якорем: а) нагружение массива грунта винтовым якорем (внедрение челюстей грейфера за счет сопротивления винтового якоря отрыву); б) разрушение массива грунта якорем; в) захват оторванного кома грунта и разработка ослабленного массива.

Максимальные усилия в гидроцилиндрах закрытия челюстей наблюдались в начале процесса (рис. 2а) и составляли 20...60 кН (рис. 3). Коэффициент наполнения ковша достигал $K_n = 0,4...0,6$. (Следует отметить, что традиционные грейферные экскаваторы 2-й размерной группы не способны разрабатывать грунты IV-й категории) [8].

После отрыва кома грунта винтовым якорем (рис. 2б) сопротивление копанию резко падает (угол поворота челюстей $\beta \approx 22$ на рис. 3) и ведется разработка ослабленного массива (рис. 2в). Увеличение усилия в гидроцилиндре закрытия челюстей на завершающем этапе процесса копания ($\beta = 66...77$) объясняется повышением влияния сил сопротивления трения грунта о боковые поверхности стенок ковша на суммарную силу сопротивления копанию [8].

Результаты экспериментальных исследований представлены в виде поверхностей отклика (рис. 4) зависимостей среднего усилия ($P_{ц}$) в гидроцилиндрах закрытия челюстей и объема ($V_{гр}$) разработанного грунта от диаметра ($D_{л}$) винтовой лопасти и глубины ($H_{я}$) погружения винтового якоря.

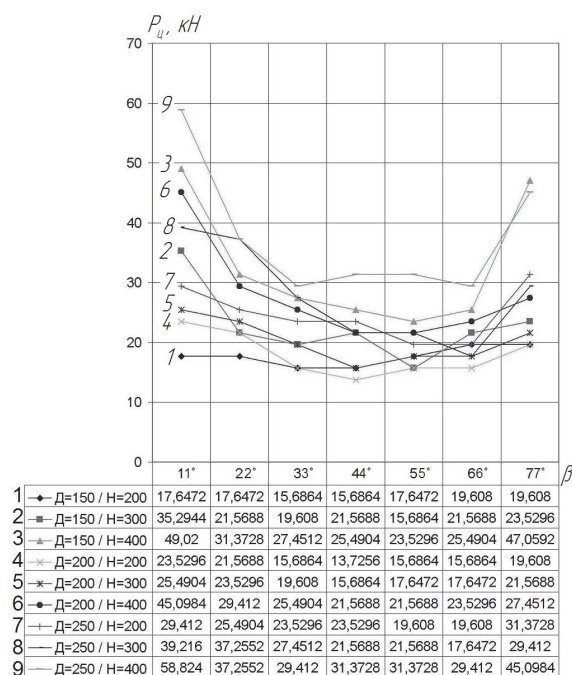


Рисунок 3. Изменение усилия на штоке гидроцилиндров механизма закрытия челюстей от угла поворота челюсти: D – диаметр экспериментальной винтовой лопасти, мм; H – глубина погружения якоря, мм.

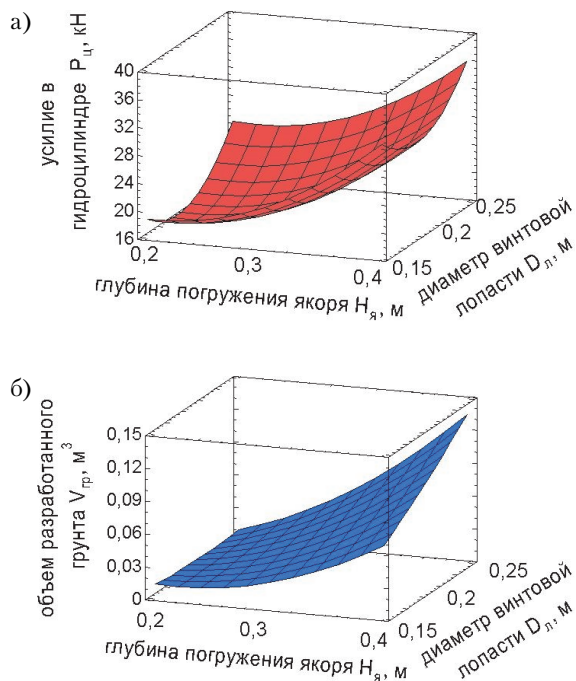


Рисунок 4. Поверхности отклика: а) усилия в гидроцилиндре закрытия челюстей; б) объема разработанного грунта.

Энергоемкость разработки грунта грейферным ковшом с винтовым якорем (рис. 5) определяется как сумма работы, затраченной на завинчивание якоря и закрытие челюстей при копании, отнесенная к объему разработанного грунта.

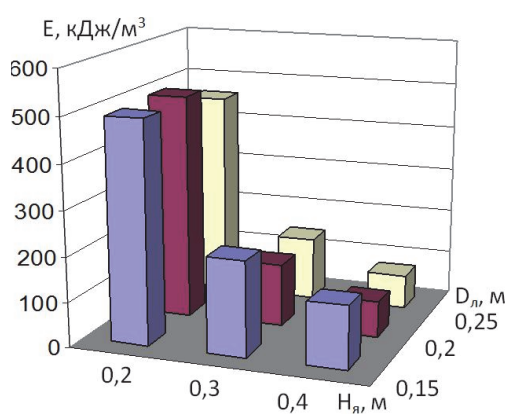


Рисунок 5. Влияние параметров винтового якоря на энергоемкость разработки грунта.

Кафедрой «НТТКС» ГОУ ВПО «ДОННАСА» совместно с ООО «ПРОМТЕХСЕРВИС ПЛЮС» проведена модернизация двухчелюстного грей-

фера (рис. 6) для кран-манипуляторной установки (КМУ). Модернизация заключалась в оснащении грейферного ковша винтовым якорем 1 со специальным поступательно-вращательным приводом 5 на базе типового гидроцилиндра.

Результаты экспериментальных испытаний модернизированного грейферного ковша (рис. 6) показали его работоспособность и эффективность. По сравнению с работой грейферного КМУ без винтового якоря отмечено увеличение коэффициента наполнения (для III-й категории грунта на 30...40 %, для IV категории грунта на 40...44 %) и повышение производительности (для III-й категории грунта 11...12 %, для IV категории грунта 20...27 %).

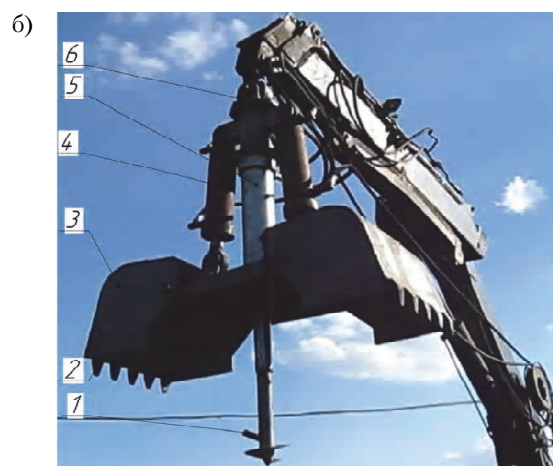


Рисунок 6. Испытания грейфера с приводным винтовым якорем на КМУ: а) КМУ с модернизированным грейфером; б) модернизированный грейферный ковш. 1 – винтовой якорь; 2 – зуб челюсти ковша; 3 – челюсть ковша; 4 – гидроцилиндр поворота челюстей; 5 – привод винтового якоря; 6 – блок проушин для крепления к манипулятору.

Вывод

Грейфер с погруженным в грунт винтовым якорем обеспечивает: увеличение усилия внедрения режущих кромок в массив грунта независимо от базовой машины; ослабление центральной части массива грунта при первоначальном отрыве из него винтового якоря; снижение сопротивления массива грунта разрушению при закрытии челюстей грейфера, т. к. разработка ведется в сторону открытой поверхности; минимальную передачу динамических нагрузок на базовую машину

за счет использования принципа замкнутого силового потока. Результаты экспериментальных исследований, выполненных непосредственно в полевых условиях, показали эффективность предложенного способа при разработке прочных грунтов. При этом параметры массы и устойчивости базовой машины не являются главными определяющими энергоемкость процесса копания. Наибольшая эффективность наблюдается при увеличении глубины погружении якоря.

Литература

1. Пат. 75788 Україна, МПК Е 02 F 1/00, В 66 С 3/00, Е 02 F 3/40, Е 02 F 3/46. Спосіб виймання міцного ґрунту ковшем грейфера [Текст] / Пенчук В. О., Белицький Д. Г. ; заявник та власник Пенчук В. О., Белицький Д. Г. – № 20040706262 ; заявл. 27.07.04 ; опубл. 15.05.2006, Бюл. № 5. – 2 с.
2. Wilkinson, H. N. Research in the design of grabs by tests on models [Текст] / H. N. Wilkinson // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*. 1963. Volume 178. P. 831–846.
3. On the closing process of clamshell dredges in water saturated sand [Текст] / S. A. Miedema, S. Becker, P. S. Jong [et. al.] // *Proceedings of XIII-th world dredging congress, WODCON XIII* (7–10 Apr 1992, Bombay). – Bombay, India : [s. n.]. 1992. – 30 p.
4. Scheffler, M. Grundlagen der Fordertechnik [Текст] / M. Scheffler, G. Pajer, F. Kurth. – Berlin : VEB Verlag Technik, 1976. – 403 p.
5. Bismark, A. O. Characterizing formation dredgeability for clamshell dredge [Текст] / A. O. Bismark. – Missouri : Missouri University of science and technology, 2011. – 146 p.
6. Таубер, Б. А. Грейферные механизмы [Текст] / Б. А. Таубер. – 3-е изд., переработ. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – 268 с.
7. Павлов, В. П. Машины для земляных работ: синтез технологий, проектирование, эффективность [Текст] : монография / В. П. Павлов, В. А. Пенчук. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2016. – 328 с.
8. Белицкий, Д. Г. Повышение эффективности разработки грунта грейферным рабочим органом [Текст] : дис... канд. техн. наук: 05.05.04 / Белицкий Дмитрий Григорьевич. – Макеевка, 2011. – 162 с.
9. Hupe, W. Verbesserte motorgreifer als beitrag zur allgemeinen verbesserung des grefernumschlages [Текст] / W. Hupe, M. Schusztter // *Hebezeuge und Fordermittel*. 1965, №. 1. P. 6–9.
10. Никифоров, Ю. П. Грейфер : а. с. 1089198 СССР, Кл Е 02 F 3/44. [Текст] / Ю. П. Никифоров,

Reference

1. Patent 75788 Ukraine, МПК Е 02 F 1/00, В 66 С 3/00, Е 02 F 3/40, Е 02 F 3/46. The method of extracting solid soil grab bucket [Text] / Penchuk V. O.; Belitsky D. G. ; applicant and patent holder Penchuk V. O.; Belitsky D. G. – № 20040706262 ; declaration 27.07.04 ; published 15.05.2006, Bul. № 5. 2 p. (in Russian)
2. Wilkinson, H. N. Research in the design of grabs by tests on models [Text]. In: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*. 1963. Volume 178. P. 831–846. (in English)
3. Miedema, S. A.; Becker, S.; Jong P. S. [et. al.]. On the closing process of clamshell dredges in water saturated sand [Text]. In: *Proceedings of XIII-th world dredging congress, WODCON XIII*. Bombay, India : [s. n.]. 1992. 30 p. (in English)
4. Scheffler, M.; Pajer, G.; Kurth, F. Grundlagen der Fordertechnik [Text]. Berlin : VEB Verlag Technik, 1976. 403 p. (in German)
5. Bismark, A. O. Characterizing formation dredgeability for clamshell dredges [Text]. Missouri : Missouri University of science and technology. 2011. 146 p. (in English)
6. Tauber, B. A. Grab mechanisms [Text] : 3rd ed., revised and supplemented. M. : Engineering, 1985. 268 p. (in Russian)
7. Pavlov, V. P.; Penchuk, V. A. Earthworks: synthesis of technologies, design, efficiency [Text] : monograph. Krasnoyarsk : Siberian Federal University, 2016. 328 p. (in Russian)
8. Belitsky D. G. Improving the efficiency of soil development by a grapple working body [Text] : author's abstract of Ph. D. Thesis : 05.05.04. Makeevka, 2011. 162 p. (in Russian)
9. Hupe, W.; Schusztter, M. Verbesserte motorgreifer als beitrag zur allgemeinen verbesserung des grefernumschlages [Text]. In: *Hebezeuge und Fordermittel*. 1965, №. 1. P. 6–9. (in German)
10. Nikiforov, Yu. P. Grapple: a. c. 1089198 USSR, Cl E 02 F 3/44. [Text] / Yu. P. Nikiforov, V. S. Konkin,

- В. С. Конкин, Н. Ю. Никифорова (СССР). – № 3569010/22-03 ; заявл. 25.03.1983 ; опубл. 30.04.1984. Бюл. № 16. – 3 с.
11. Хмара, Л. А. Рабочее оборудование одноковшового экскаватора : а. с. 1133351 СССР, Кл Е 02 F 3/413. [Текст] / Л. А. Хмара, А. И. Голубченко, В. В. Мелашич С. И. Братченко (СССР). – № 3663437/22-03 ; заявл. 21.11.1983 ; опубл. 07.01.1985. Бюл. № 1. – 6 с.
 12. Коц, И. В. Виброгрейфер : а. с. 777156 СССР, М. Клз Е 02 F 3/44. [Текст] / И. В. Коц, М. Е. Иванов, А. Н. Довгальук (СССР). – № 2729633/29-03 ; заявл. 28.02.79 ; опубл. 07.11.80. Бюл. № 41. – 3 с.
 13. Изаксон, А. А. Рабочее оборудование гидравлического экскаватора : а. с. 887741 СССР, М. Клз Е 02 F 3/38. [Текст] / А. А. Изаксон, П. Д. Касьянов, В. П. Недоносков, В. И. Глухов, А. Г. Корон и М. Л. Куперман (СССР). – № 2917742/29-03 ; заявл. 30.04.80 ; опубл. 07.12.81. Бюл. № 45. – 3 с.
 14. Хазин, Б. Г. Грейфер : а. с. 1411385 СССР, Кл Е 02 F 3/413. [Текст] / Б. Г. Хазин, В. Л. Коган, Р. Ф. Мамлеев (СССР). – № 4129876/22-03 ; заявл. 08.10.1986 ; опубл. 23.07.1988. Бюл. № 27. – 2 с.
 15. Пат. 45306 Japan, Int. Cl2 Е 02 F 3/44. Мобильный ковш грейфера [Текст] / Дин Хенишино Лима (Япония). – № 116523 ; заявл. 08.10.74 ; опубл. 09.04.76. Бюл. № 3. С. 29–31.
 16. Lutenegeger, Alan. Historical developement of iron screw-pile foundations: 1836–1900 [Текст] / Alan Lutenegeger // Int. J. for the History of Eng. & Tech., 2011. Vol. 81. № 1. P. 108–128.
 17. Железков, В. Н. Винтовые сваи в энергетической и других отраслях строительства [Текст] / В. Н. Железков. – СПб. : Прагма, 2004. – 128 с.
 18. Пенчук, В. А. Винтовые сваи и анкера для опор [Текст] / В. А. Пенчук. – 2-е изд., переработ. и доп. – Донецк : «Ноулидж» (Донецкое отделение), 2010. – 179 с.
 19. Лебедев, С. В. Несущая способность винтовых якорей [Текст] / С. В. Лебедев, Н. Е. Ромакин // Строительные и дорожные машины. 2014. № 2. С. 53–56.
 20. On the theory of ground anchors. Cold Regions Research and Engineering Laboratory [Текст] / A. Kovacs, S. Blouin, B. McKelvy [et. al.]. – Hanover, New Hampshire : [s. n.], 1975. – 68 p.
 21. Describing the position of backhoe dredge buckets [Электронный ресурс] / С. F. Hofstra, A. J. M. van Hemmen, S. A. Miedema [et. al.]. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа : http://www.dredgingengineering.com/dredging/media/LectureNotes/miedema/2000_WEDA_Hofstra/WEDA-2000_Backhoe.htm. – Назв. с экрана.
 - N. Yu. Nikiforova (USSR). – № 3569010/22-03; declaration 25.03.1983; published 30.04.1984. Bul. № 16. 3 p. (in Russian)
 11. Khmara, L. A. Working equipment of a single-bucket excavator: a. c. 1133351 USSR, Cl E 02 F 3/413. [Text] / L. A. Khmara, A. I. Golubchenko, V. V. Melashich, S. I. Bratchenko (USSR). – № 3663437/22-03; declaration 21.11.1983; published 07.01.1985. Bul. № 1. 6 p. (in Russian)
 12. Kots, I. V. Webnographer: a. c. 777156 USSR, M. Cl 3 E 02 F 3/44. [Text] / I. V. Kots, M. Ye. Ivanov, A. N. Dovgalyuk (USSR). – № 2729633/29-03; declaration 28.02.79 ; published 07.11.80. Bul. № 41. 3 p. (in Russian)
 13. Izakson, A. A. Hydraulic Excavator Operating Equipment: a. c. 887741 USSR, M. Cl 3 E 02 F 3/38. [Text] / A. A. Izakson, P. D. Kasyanov, V. P. Nedonoskov, V. I. Glukhov, A. G. Koron i M. L. Kuperman (USSR). – № 2917742/29-03; declaration 30.04.80 ; published 07.12.81. Bul. № 45. 3 p. (in Russian)
 14. Khazin, B. G. Grapppler: a.c. 1411385 USSR, Cl E 02 F 3/413. [Text] / B. G. Khazin, V. L. Kogan, R. F. Mamleyev (USSR). – № 4129876/22-03; declaration 08.10.1986 ; published 23.07.1988. Bul. № 27. 2 p. (in Russian)
 15. Patent 45306 Japan, Int. Cl2 Е 02 F 3/44. Mobile grab bucket [Text] / Din Khenishino Lima (Japan). – № 116523; declaration 08.10.74; published 09.04.76. Bul. № 3. P. 29–31. (in Russian)
 16. Lutenegeger, Alan. Historical developement of iron screw-pile foundations: 1836–1900 [Text]. In: *Int. J. for the History of Eng. & Tech.*, 2011. Vol. 81. № 1. P. 108–128. (in English)
 17. Zhelezkov, V. N. Screw piles in the energy and other construction sectors [Text]. Saint Petersburg: Pragma, 2004. 128 p. (in Russian)
 18. Penchuk, V. A. Screw piles and anchors for supports [Text] : 2nd ed., revised and supplemented. Donetsk : «Knowledge» (Donetsk branch), 2010. 179 p. (in Russian)
 19. Lebedev, S. V.; Romakin, N. Ye. Bearing capacity of screw anchors [Text]. In: *Construction and road cars*. 2014. № 2. P. 53–56. (in Russian)
 20. Kovacs, A.; Blouin, S.; McKelvy, B. [et. al.]. On the theory of ground anchors. Cold Regions Research and Engineering Laboratory [Text]. Hanover, New Hampshire : [s. n.], 1975. 68 p. (in English)
 21. Hofstra, C. F.; Hemmen, A. J. M.; Miedema, S. A. [et. al.]. Describing the position of backhoe dredge buckets [Electronic resource]. Electron. Text. data. Access mode : http://www.dredgingengineering.com/dredging/media/LectureNotes/miedema/2000_WEDA_Hofstra/WEDA2000_Backhoe.htm. The name on the screen. (in English)

Белицкий Дмитрий Григорьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры наземных транспортно-технологических комплексов и средств ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: повышение эффективности разработки грунта грейферными рабочими органами.

Белицкий Дмитро Григорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри наземних транспортно-технологічних комплексів та засобів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: підвищення ефективності розробки ґрунту грейферними робочими органами.

Belitskiy Dmitriy – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Land Transport and Technological Complexes and Facilities Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: improving the efficiency of soil development by grappling working bodies.