

КОНУСНЫЙ РАСКАТЧИК К ГУСЕНИЧНОМУ ЭКСКАВАТОРУ

Е.И. Кромский, С.В. Кондаков, К.З. Тиллоев

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Рассмотрены принципиальные схемы технических решений машин для глубокого уплотнения грунтов. Дана оценка достоинств и недостатков конструкции устройств, успешно применяемых на строительных площадках Новосибирска, Омска и др. Институт Гидродинамики им М.А. Лаврентьева СО РАН и ООО Научно-производственная фирма «Гидромеханика» разработали технологию и оборудование для глубокого трамбования грунта, представляющее собой рабочее оборудование на тяжелые гусеничные экскаваторы, позволяющее получать скважины диаметром до 0,9 м и глубиной до 4 м.

Новосибирские изобретатели Л.М. Бобылева и др. (г. Новосибирск) разработали устройство для раскатки скважин в грунте, включающее базовую машину, стрелу, механизм для поворота стрелы, каретку, раму, рабочий орган, буровой став, механизм для перемещения каретки и механизм для поворота рамы. Устройство раскатывает скважину диаметром 0,25...0,4 м и глубиной 6 м.

Предложена конструкция конусного раскатчика на базе гидравлического экскаватора для глубокого уплотнения земляного полотна дороги. Разрушение дорожного покрытия возникает в результате неустойчивости основания дороги. Эти повреждения являются следствием нарушений, связанных с технологическим процессом уплотнения грунта и применением существующей грунтоуплотняющей техники. Небольшие нарушения превращаются в опасные деформации дороги. Эти показатели приводят к снижению скорости движения автомобилей и экономической эффективности. Обоснованы конструктивные достоинства новых технических решений. Назначение новой техники: перераспределить внешнюю нагрузку на локальный участок рабочего органа, что даст возможность выполнять процесс уплотнения грунта при значительно меньшей установленной мощности привода рабочего органа в виде конусного раскатчика.

Ключевые слова: дорожно-строительные машины, машины для поверхностного и глубокого уплотнения грунтов, конусный рабочий орган гусеничного экскаватора, конусный раскатчик скважины.

Современные дорожно-строительные машины: катки, трамбовки, виброплиты и т. д. при возведении насыпи из различных грунтов осуществляют послойное уплотнение материалов толщиной 0,3...0,8 м [1, 2, 4, 5, 9, 10, 16, 18].

Для уплотнения грунтов на большую глубину, достигающую нескольких метров, – это земляное полотно автомобильных дорог, дамбы, плотины и другие насыпи высотой до 4–6 м, целесообразно изучить опыт применения оборудования для глубокого уплотнения грунта при строительстве зданий и сооружений [3–7, 11, 12, 14, 15].

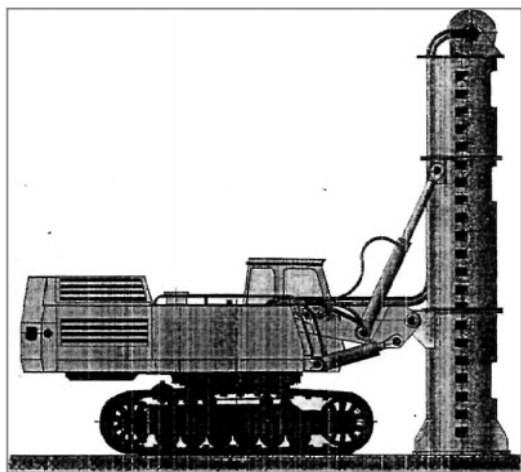


Рис. 1. Агрегат для глубокого трамбования грунта

Известны способы глубокого уплотнения грунтов с помощью конусных оболочек, внедряемых в грунт с помощью ударных импульсов [6–8, 13]. Как показывают исследования ученых из г. Омска и Новосибирска, плотность грунта в результате глубинного уплотнения может быть повышена на 20–25 %, а несущая способность – в 1,5–2 раза.

Рабочий орган агрегата для глубокого уплотнения грунта представляет собой оболочку в виде усеченного конуса с диаметром оснований (0,9...0,4) м высотой около 4 м, установленного на шасси гидравлического экскаватора 5-й типоразмерной группы (рис. 1). Внутри конусной оболочки смонтиро-

ван гидropневматический молот, с помощью которого конусная оболочка внедряется в грунт, раздвигая рыхлый материал в горизонтальном направлении, тем самым повышая его плотность и несущую способность. Образовавшиеся полости (скважины) засыпаются щебнем или песком, образуя сплошной массив во взведенной насыпи с высокими потребительскими свойствами.

Относительным недостатком применяемой конструкции является большая площадь контактной поверхности рабочего органа с грунтом, достигавшая 6 м^2 , что требует установки гидромолотов большой мощности.

Новосибирскими и омскими учеными разработаны конструкции менее энергоемких устройств многокатковых винтовых раскатчиков (рис. 2) [7–8, 19, 20].

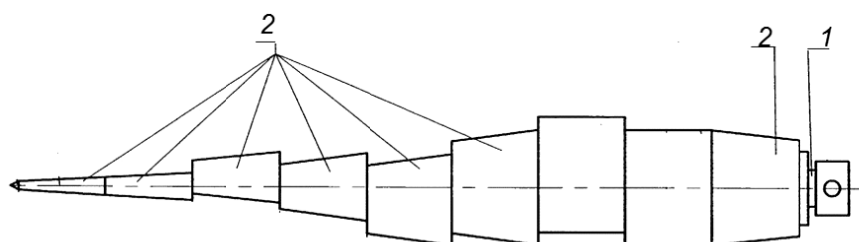


Рис. 2. Многокатковый винтовой раскатчик: 1 – вал; 2 – катки

Сравнительным недостатком данной конструкции является сложность эксплуатации и ремонта в связи с запрессовкой грунта в зазоры между торцами катков и попаданием абразивного материала в подшипниковые узлы.

Южно-Уральский государственный университет (ЮУрГУ) предлагает проект нового навесного оборудования к гусеничному экскаватору с использованием импульсно-волнового метода уплотнения [3, 17, 21]. При этом толщина свежеложенного грунта в насыпи может достигать 4...6 м.



Рис. 3. Конусный раскатчик на базе гидравлического гусеничного экскаватора

Оборудование (предлагаемое ЮУрГУ) состоит из гидравлического экскаватора с конусным рабочим органом 1, гидромотором 2, траверсами 3 (рис. 3).

Боковая поверхность конуса может быть гладкой или в виде шнека. Конусный раскатчик 1 приводится в движение с помощью коленчатого вала, приводимого во вращение гидромотором 2. Зная эксцентриситет коленчатого вала, определяют диаметр образовавшейся скважины

$$D = d + 2\ell, \quad (1)$$

где D – диаметр скважины, d – диаметр конуса, ℓ – эксцентриситет коленчатого вала.

Требуемый крутящий момент для качения нового рабочего органа при раскатке суглинка определяется:

$$M = 0,266 \cdot Q \cdot 1,55 \sqrt{1 - \frac{\sigma^2}{E} \tan \frac{\alpha}{2}} = 3154H \cdot M. \quad (2)$$

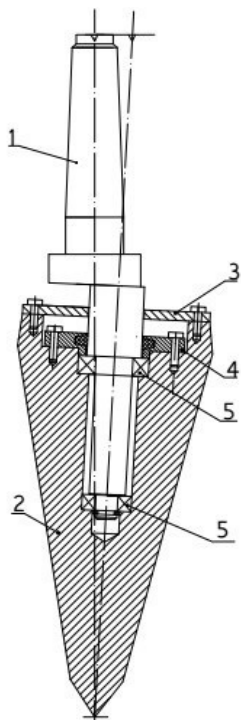


Рис. 4. Конусный раскатчик

Мощность привода для вращения устройства составляет:

$$N = M \cdot \omega = M \frac{n\pi}{30} = 3154 \cdot 2,2 = 6939 \text{ Вт} = 6,9 \text{ кВт.} \quad (3)$$

Для проведения экспериментальных исследований разработан лабораторный стенд, который состоит из коленчатого вала 1, конусного рабочего органа 2, верхней крышки 3, крышки подшипника 4 и подшипников 5 (рис. 4).

Обязательным условием проектируемого конусного раскатчика является требование сходимости пересечения участков осей коленчатого вала на вершине конуса. В этом случае вершина конуса перемещается строго по вертикали.

После проведения экспериментальных исследований будут разработаны технические условия на проектирование промышленного образца конусного раскатчика.

Изготовление нового рабочего органа для раскатки котлована возможно не только на машиностроительных заводах, но и в ремонтно-механических мастерских дорожно-эксплуатационных организаций (ДРСУ), поэтому можно ожидать уже в ближайшее время переход отрасли на новую технику и технологию.

Конусные раскатчики на гусеничных и колесных тракторах могут заинтересовать не только машиностроителей, но и работников дорожно-транспортной отрасли.

Выводы

- Разработка машин для глубокого уплотнения грунтов и их эксплуатация показала перспективность нового направления в машиностроительной отрасли; в то же время выявилось необходимость их конструкторской доработки с целью снижения энергоемкости процесса уплотнения грунтов.
- Конструкция конусного раскатчика, предложенная ЮУрГУ, обеспечивает значительное снижение установленной мощности привода за счет локального приложения внешней нагрузки. При этом контактная поверхность рабочего органа конусного раскатчика может отличаться на порядок от существующих конструкций.
- Мощность привода рабочего органа раскатчика, рассчитанная для конуса диаметром 800 мм и высотой 1500 мм, составила $N_{\text{теор}} = 6,9$ кВт, что свидетельствует о высокой эффективности предложенного технологического процесса.
- Применение конусного раскатчика может обеспечить увеличение плотности грунта на 20–25 % при значительном уменьшении его пористости и увеличение его несущей способности 1,5–2 раза.

Литература

1. Погрузочно-разгрузочные и уплотняющие машины / под общ. ред. В.И. Баловнева. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – 464 с.
2. Иванченко, С.Н. Асфальтоукладчики: Конструирования и расчет / С.Н. Иванченко, А.В. Лецинский. – Хабаровск: Изд-во Хабаров. гос. техн. ун-та, 2002. – 104 с.
3. Разработка теории расчета основных параметров импульсно-волнового прессования композиционных материалов: отчет НИР, ч. II / ВНИИЦ. – Челябинск, ЮУрГУ, 1999. – № ГР-01.980004703. – Инв. № 02.990003671.
4. Уплотнение грунтов обратных засыпок в стесненных условиях строительства / Нормативная документация Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1981.
5. Хартута, Н.Я. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог / Н.Я. Хартута, Ю.М. Васильев. – М.: Транспорт, 1975. – 278 с.
6. Технология и оборудование для глубокого трамбованные грунта / В.С. Мионов, П.Я. Фадеев, В.Я. Фадеев, М.С. Мандрик // Строительные и дорожные машины. – 2015. – № 8. – С. 2–4.

7. Пат. 1836527 Российская Федерация. Устройство для раскатки скважин в грунте / Л.М. Бобылев, А.Л. Бобылев; заявитель и патентообладатель Л.М. Бобылев, А.Л. Бобылев. – № 5000939/03; заявл. 12.07.1991; опублик. 23.08.1993, Бюл. № 31. – 4 с.
8. Луцкий, С.Я. Интенсивная технология упрочнения слабых оснований земляного полотна / С.Я. Луцкий, А.Б. Сакун // *Транспортное строительство*. – 2015. – № 08. – С. 18–22.
9. Минаев, О.П. Основы и методы уплотнения грунтов оснований для возведения зданий и сооружений / О.П. Минаев. – СПб., 2014. – 295 с.
10. Minaev, O.P. Russian methods and equipment for spatial vibrocompaction foundations and structures / O.P. Minaev // *ARC 2015: New Innovations and Sustainability*, 2015. – P. 2747–2750. DOI: 10.3208/jgssp.TC305-11
11. *Строительство, эксплуатация и ремонт автомобильных дорог: справ.* / под ред. С.Г. Цуликова. – М.: Инфра-Инженерия, 2005. – 928 с.
12. Баловнев, В.И. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве / В.И. Баловнев, Л.А. Хмара – М.: Транспорт, 1993. – 380 с.
13. Raifhel, M. Geotextile – Encased Columns (GEC) for Foundation of a Dyke on very Soft Soils / M. Raifhel [et al.] // *Proc. 7th Intern. Conf. on Geosynthetics*. – Nizza, 2006. – P. 1025–1028.
14. *Ground Improvement – Case Histories*/ ed. B. Indranatna, C. Jian. – Elsevier, 2005. – P. 633–658.
15. Muni, B. *Soil mechanics fundamentals* / B. Muni. – John Wiley & Sons, 2015. – 341 p.
16. Horton, R *Effects of compaction on soil hydraulic properties* / R. Horton, M.D. Ankeny, R.R. Allmaras // *Soil Compaction in Crop Production*. – 1994. – P. 141–165.
17. *Compaction by agricultural vehicles: a review. I. Soil and wheel characteristics* / B.D. Soane, P.S. Blackwell, J.W. Dickson, D.J. Painter // *Soil Tillage Res.* – 1981. – No. 1. – P. 207–237. DOI: 0.1016/0167-1987(80)90026-4
18. *Evaluation of the dynamic cone penetrometer to detect compaction in ripped soils* / C.T.S. Beckett, S. Bewsher, A.L. Guzzomi et al. // *Soil and Tillage Research*. – 2018. – No. 175. – P. 150–157. DOI: 10.1016/j.still.2017.09.009
19. *Advances in numerical modelling of different ground improvement techniques* / E. Heins, K.-F. Seitz, A. Chmelnizkij et al. // *Geotechnical Engineering*. – 2017. – No. 48 (3). – P. 87–94.
20. Massarsch, K.R. *Evaluation of resonance compaction of sand fills based on cone penetration tests* / K.R. Massarsch, B.H. Fellenius // *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Ground Improvement*. – 2017. – No. 170 (3). – P. 149–158. DOI: 10.1680/jgrim.17.00004
21. Zhang, C. *Theoretical and regressive analysis of the position of peak stress on fully mechanized caving mining* / C. Zhang, Z.Y. Ti, Z.X. Li // *China Safety Science Journal*. – 2011. – Vol. 21, no. 9. – P. 88–93.

Кромский Евгений Ильич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Колесные и гусеничные машины», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, ekromskiy@mail.ru.

Кондаков Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры «Колесные и гусеничные машины», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, tanksv@mail.ru.

Тиллоев Кудратулло Зувайдуллоевич, аспирант кафедры «Колесные и гусеничные машины», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, kudratullo.tilloev@bk.ru.

Поступила в редакцию 16 января 2018 г.

CONE ROLLING TO CRAWLER EXCAVATOR

E.I. Kromsky, ekromskiy@mail.ru,

S.V. Kondakov, tanksv@mail.ru,

K.Z. Tilloev, kudratullo.tilloev@bk.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The basic schemes of technical solutions for deep soil compaction are considered. The evaluation of the advantages and disadvantages of the design of devices is successfully applied, applied on construction sites in Novosibirsk, Omsk, and others. The Lavrentiev Institute of Hydrodynamics SB RAS and LLC Scientific and Production Company “Hydromechanics” Developed technology and equipment for deep soil tamping which is a working equipment for heavy crawler excavators, allowing to receive wells with a diameter of up to 0.9 m and a depth of up to 4 m.

Novosibirsk inventors L.M. Bobyleva and others (Novosibirsk) developed devices for rolling up holes in the ground, including a base machine, arrow, mechanism for turning the boom, carriage, frame rotator, working body, drilling rig, a mechanism for moving the carriage and a mechanism for turning the frame. The device rolls a borehole with a diameter of 0.25 ... 0.4 m and a depth of 6 m.

The design of a cone-shaped spreader based on a hydraulic excavator for deep compaction of the road is proposed. Destruction of the road surface occurs as a result of instability of the road foundation. This damage is a consequence of violations related to the process technology and methods of compaction of soil and the application of existing soil compacting techniques. Small violations turn into dangerous deformations of the road. These indicators lead to a reduction in vehicle speed and economic efficiency. The constructive merits of new technical solutions are substantiated. Purpose of the new technology: redistribute the external load to the local area of the working body, which will make it possible to perform the process of compaction of the soil with a significantly lower installed power drive actuator in the form of a cone spreader.

Keywords: road-building machines, machines for surface and deep compaction of soils, cone working body of a crawler excavator, cone rolling borehole.

References

1. Balovnev V.I. (Ed) *Pogruzochno – razgruzochnye i uplotnyayushchie mashin* [Loading – Unloading and Sealing Machines]. Belgorod, BGTTU Publ., 2011. 464 p.
2. Ivanchenko S.N., Leshhinskiy A.V. *Asfal'toukladchiki: Konstrukciya i raschyot* [Asphalt Pavers: Construction and Reckoning]. Khabarovsk, Khabarovsk State Technical Univ. Publ., 2002. 104 p.
3. *Razrabotka teorii rascheta osnovnykh parametrov impul'sno-volnovogo pressovaniya kompozitsionnykh materialov: otchet NIR ch. 2* [Development of the Theory of Calculation of the Main Parameters of the Pulse-Wave Compression of Composite Materials: NIR report, part 2]. Report research work № GR-01.980004703 Inv. № 02.990003671. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 1999.
4. *Uplotnenie gruntov obratnykh zasypok v stesnennykh usloviyakh stroitel'stva Normativnaya dokumentatsiya* [Soil Compaction of Backfill in Confined Construction Conditions]. Gosstroy USSR. Moscow, Stroyizdat, 1981.
5. Hartuta N.Ya., Vasil'ev Ju.M. *Prochnost', ustoychivost' i uplotnenie gruntov zemlyanogo polotna avtomobil'nyh dorog* [Strength, Stability and Compaction of the Soils of the Roadbed of Motor Roads]. Moscow, Transport Publ., 1975. 278 p.
6. Mironov V.S., Fadeev P.Ja., Fadeev V.Ja., Mandrik M.S. [Technology and Equipment for Deep Soil Tamping]. *Construction and Road Machines*, 2015, no. 8, pp. 2–4. (in Russ.)
7. Bobylev L.M., Bobylev A.L. *Ustroystvo dlya raskatki skvazhin v grunte* [Device for Rolling Borehole in the Soil]. Patent RF, no. 18365227, 1993.
8. Lutskiy S.Ya., Sakun A.B. [Intensive Technology for Strengthening the Weak Bases of the Roadbed]. *Transport Construction*, 2015, no. 8, pp. 18–22. (in Russ.)

9. Minaev O.P. *Osnovy i metody uplotneniya gruntov osnovaniy dlya vozvedeniya zdaniy i sooruzheniy* [Fundamentals and Methods of Compaction of Foundation Soils for the Erection of Buildings and Structures], St. Petersburg, 2014. 295 p.
10. Minaev O.P. Russian Methods and Equipment for Spatial Vibrocompaction Foundations and Structures. *15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ARC 2015: New Innovations and Sustainability*, 2015, pp. 2747–2750. DOI: 10.3208/jgssp.TC305-11
11. Cupikov, S.G. (Ed.) *Stroitel'stvo, ekspluatatsiya i remont avtomobil'nykh dorog: spravochnik* [Construction, Operation and Repair of Roads: a Directory]. Moscow, Infra-Engineering, 2005. 928 p.
12. Balovnev V.I., Hmara L.A. *Intensifikatsiya razrabotki gruntov v dorozhnom stroitel'stve* [Intensification of Soil Development in Road Construction]. Moscow, Transport Publ., 1993. 380 p.
13. Raifhel M. Geotextile – Encased Columns (GEC) for Foundation of a Dyke on Very Soft Soils. *Proc. 7th Intern. Conf. on Geosynthetics*. Nizza, 2006, pp. 1025–1028.
14. Indranatna B., Jian C. (Eds.) *Ground Improvement – Case Histories*. Elsevier, 2005, pp. 633–658.
15. Muni B. *Soil Mechanics Fundamentals*. John Wiley & Sons, 2015. 341 p.
16. Horton R., Ankeny M.D., Allmaras R.R. Effects of Compaction on Soil Hydraulic Properties. *Soil Compaction in Crop Production*, 1994, pp. 141–165.
17. Soane B.D., Blackwell P.S, Dickson J.W., Painter D.J. Compaction by Agricultural Vehicles: a Review. I. Soil and Wheel Characteristics. *Soil Tillage Res.*, 1981, no. 1. pp. 207–237. DOI: 0.1016/0167-1987(80)90026-4
18. Beckett C.T.S., Bewsher S., Guzzomi A.L., Lehane B.M., Fourie A.B., Riethmuller G. Evaluation of the Dynamic Cone Penetrometer to Detect Compaction in Ripped Soils. *Soil and Tillage Research.*, 2018, no. 175, pp. 150–157. DOI: 10.1016/j.still.2017.09.009
19. Heins E., Seitz K.-F., Chmelnizkij A., Milatz M., Grabe J. Advances in Numerical Modelling of Different Ground Improvement Techniques. *Geotechnical Engineering*, 2017, no. 48 (3), pp. 87–94.
20. Massarsch K.R, Fellenius B.H. Evaluation of Resonance Compaction of Sand Fills Based on Cone Penetration Tests. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Ground Improvement*, 2017, no. 170 (3), pp. 149–158. DOI: 10.1680/jgrim.17.00004
21. Zhang C., Ti Z.Y., Li Z.X. Theoretical and Regressive Analysis of the Position of Peak Stress on Fully Mechanized Caving Mining. *China Safety Science Journal*, 2011, vol. 21, no. 9, pp. 88–93.

Received 16 January 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Кромский, Е.И. Конусный раскатчик к гусеничному экскаватору / Е.И. Кромский, С.В. Кондаков, К.З. Тиллоев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2018. – Т. 18, № 1. – С. 34–39. DOI: 10.14529/engin180104

FOR CITATION

Kromsky E.I., Kondakov S.V., Tilloev K.Z. Cone Rolling to Crawler Excavator. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 34–39. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin180104
