

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ГЛУБОКОГО УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВ

С.В. Кондаков, М.А. Асфандияров, К.А. Гундарев

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

В данной статье рассмотрена принципиальная схема устройства для глубокого уплотнения грунтов с использованием конусных роликов, расположенных между водилом и забурником через равные углы, за счет чего устройство будет представлять естественную динамически-уравновешенную механическую систему. Указаны преимущества данного устройства относительно предшествующих прототипов. По принципиальной схеме определена половина угла всего устройства, состоящая из угла между центром устройства и осью конусных роликов α и угла наклона образующих конусного ролика β . По схеме конусного ролика выражена формула для определения меньших радиуса и диаметра конусного ролика. Также определены средний радиус и длина образующей конусного ролика. Рассмотрена схема определения площади контакта конусного ролика с грунтом. По этой схеме составлена зависимость, из которой определена длина дуги площади контакта конусного ролика с грунтом. Выражена площадь контакта образующей конусного ролика с поверхностью грунта. По принципиальной схеме устройства определена реакция опорной поверхности конусного ролика на грунт. Записана формула для определения напряжения на контактной поверхности конусного ролика. Составлена формула силы трения, с помощью которой определен необходимый крутящий момент для начала вращения одного конусного ролика. Определена зависимость крутящего момента на приводном валу от геометрических характеристик устройства и от механических характеристик грунта с учетом количества конусных роликов и передаточного отношения. Выведена формула для определения осевой силы внедрения, действующей на один конусный ролик. Определена зависимость осевой силы внедрения от геометрических параметров устройства и от механических характеристик грунта с учетом количества конусных роликов.

Ключевые слова: математическая модель, дорожно-строительные машины, раскатка котлованов, динамически-уравновешенная система, конусный раскатчик, конусные ролики, глубокое уплотнение грунтов.

Современные дорожно-строительные машины: катки, трамбовки, виброплиты и т. п. – при возведении насыпи из различных грунтов осуществляют послойное уплотнение насыпных материалов толщиной 0,3...0,8 м [1–11].

Для уплотнения грунтов на большую глубину, достигающую нескольких метров: земляное полотно автомобильных дорог, гидротехнических сооружений (дамб, плотин) и другие насыпи высотой до 4–6 м – целесообразно изучить опыт применения оборудования для уплотнения грунтов при строительстве зданий и сооружений [12].

Известны способы уплотнения грунтов с помощью конусных оболочек, внедряемых в грунт с помощью ударных импульсов [12] и методом раскатки [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.

Относительными недостатками применяемых известных конструкций являются большая площадь контактной поверхности рабочего органа с грунтом, достигающая 6 м², что требует установки гидромолотов большой мощности, и динамическая неуравновешенность механической системы устройства для раскатки котлованов [14, 15] с коленчатым валом и одним конусным роликом (рис. 1).

Кафедра «Колесные и гусеничные машины» ЮУрГУ (г. Челябинск) модернизировала устройство для раскатки котлованов, применив динамически-уравновешенную систему за счет усовершенствования конструкции устройства для глубокого уплотнения грунтов [16] с помощью математического моделирования.

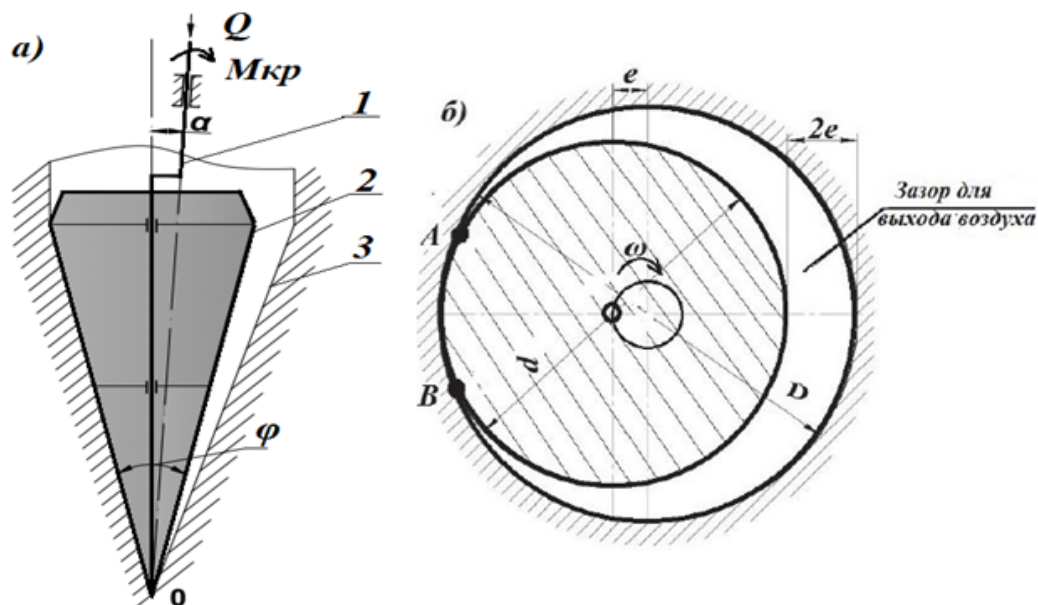


Рис. 1. Схема устройства для раскатки котлованов: а – вид сбоку, б – вид сверху;
1 – коленчатый вал, 2 – рабочий орган, 3 – котлован

Для начала математического моделирования [17, 18] составим принципиальную схему устройства (рис. 2) с изображением сил, действующих на него.

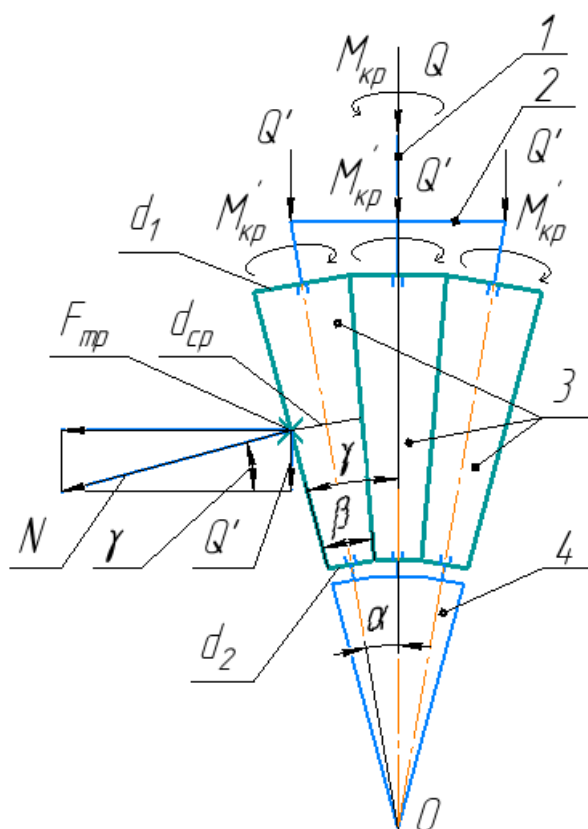


Рис. 2. Принципиальная схема устройства
для глубокого уплотнения грунтов

Устройство содержит вал приводной 1, водило 2, конусные ролики 3, расположенные между водилом и забурником 4 под равными углами.

Из рис. 2 определим половину угла устройства по формуле (1):

$$\gamma = \alpha + \frac{\beta}{2}, \quad (1)$$

где α – угол между центром устройства и осью конусных роликов, град.; β – угол наклона образующих конусных роликов, град.

Представим конусный ролик в виде схемы, отображенной на рис. 3.

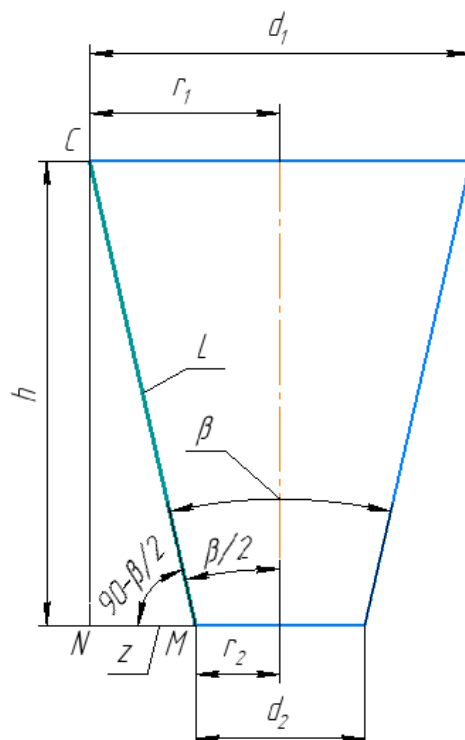


Рис. 3. Принципиальная схема конусного ролика

Согласно рис. 3, определим меньший диаметр d_2 . Для начала выразим формулу (2) для определения меньшего радиуса r_2 :

$$r_2 = r_1 - z, \quad (2)$$

где r_1 – больший радиус конусного ролика, м; r_2 – меньший радиус конусного ролика, м; z – величина катета NM , м.

Из прямоугольного треугольника CNM (см. рис. 3) определим катет NM через тригонометрическое соотношение углов по формуле:

$$NM = z = h \cdot \operatorname{ctg} \left(90 - \frac{\beta}{2} \right), \quad (3)$$

где h – величина катета CN , высота конусного ролика, м.

Подставим выражение (3) в (2) и получим формулу:

$$r_2 = r_1 - h \cdot \operatorname{ctg} \left(90 - \frac{\beta}{2} \right). \quad (4)$$

Запишем радиусы r_2 и r_1 через диаметры d_2 и d_1 соответственно и получим выражение:

$$\frac{d_2}{2} = \frac{d_1}{2} - h \cdot \operatorname{ctg} \left(90 - \frac{\beta}{2} \right). \quad (5)$$

После проведения алгебраических преобразований получаем окончательное выражение для нахождения меньшего диаметра d_2 в зависимости от геометрических размеров большего диаметра d_1 :

$$d_2 = d_1 - 2 \cdot h \cdot \operatorname{ctg} \left(90 - \frac{\beta}{2} \right), \quad (6)$$

где d_1 – больший диаметр конусного ролика, м; d_2 – меньший диаметр конусного ролика, м.

Согласно рис. 2, определим средний радиус конусного ролика по формуле:

$$r_{\text{cp}} = \frac{d_{\text{cp}}}{2} = \frac{d_1 + d_2}{4}, \quad (7)$$

где r_{cp} – средний радиус конусного ролика, м; d_{cp} – средний диаметр конусного ролика, м.

Согласно рис. 2 определим зависимость между осевой силой внедрения и нормальной силой по формуле:

$$\sin \gamma = \frac{Q'}{N}, \quad (8)$$

где Q' – осевая сила внедрения, действующая на один конусный ролик, Н; N – реакция опорной поверхности (нормальная сила) конусного ролика на грунт, Н.

Из рис. 3 найдем зависимость между длиной образующей конусного ролика и его высотой по формуле:

$$\cos\left(\frac{\beta}{2}\right) = \frac{h}{L}, \quad (9)$$

где L – длина образующей конусного ролика, м; h – высота конусного ролика, м.

Определим длину образующей конусного ролика по формуле:

$$L = \frac{h}{\cos\left(\frac{\beta}{2}\right)}. \quad (10)$$

Для определения площади контакта конусного ролика с грунтом в котловане воспользуемся схемой, представленной на рис. 4.

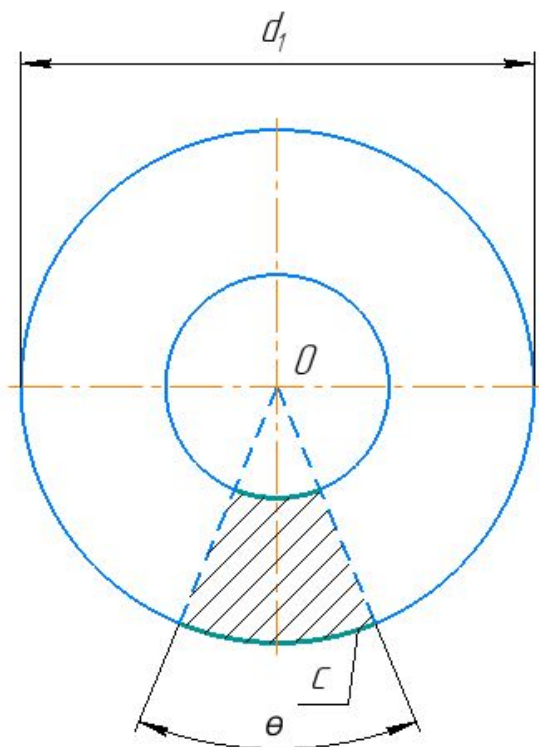


Рис. 4. Принципиальная схема определения площади контакта конусного ролика с грунтом

Составим пропорциональную зависимость к рис. 4:

$$\begin{cases} 360^\circ \rightarrow \pi \cdot d_1 \\ \theta \rightarrow x, \end{cases} \quad (11)$$

где d_1 – больший диаметр конусного ролика, м; θ – угол, учитывающий соприкосновение дуги конусного ролика с грунтом, определяется экспериментальным путём, град.; x – длина дуги площади контакта конусного ролика с грунтом, м.

Выразим x из зависимости (11) и представим в виде выражения:

$$x = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot \theta}{360^\circ}. \quad (12)$$

Учитывая формулы (10) и (12), определим площадь контакта образующей конусного ролика с поверхностью грунта по формуле:

$$S = x \cdot L = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot \theta \cdot h}{360^\circ \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right)}. \quad (13)$$

Численные методы моделирования

Используя формулу (13) и рис. 2, определим реакцию опорной поверхности (нормальную силу) конусного ролика на грунт по формуле:

$$N = \sigma \cdot S = \frac{\sigma \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \theta \cdot h}{360^\circ \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right)}, \quad (14)$$

где σ – напряжение на контактной поверхности конусного ролика, Па.

Найдем напряжение на контактной поверхности конусного ролика по формуле:

$$\sigma = C \cdot y^\mu, \quad (15)$$

где C – коэффициент общей деформации грунта, $\frac{H}{m^3}$ [19]; μ – показатель степени, характеризующий процесс деформации; y – деформация радиуса скважины, м.

Определим силу трения по формуле:

$$F_{\text{тр}} = f \cdot N = \frac{f \cdot \sigma \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \theta \cdot h}{360^\circ \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right)}, \quad (16)$$

где f – коэффициент трения различных грунтов [20].

Согласно формулам (16) и (7), определим необходимый крутящий момент для начала вращения одного конусного ролика по формуле:

$$M'_{\text{кр}} = F_{\text{тр}} \cdot r_{\text{ср}} = \frac{f \cdot \sigma \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \theta \cdot h \cdot (d_1 + d_2)}{1440^\circ \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right)}, \quad (17)$$

где $M'_{\text{кр}}$ – крутящий момент, необходимый для вращения одного конусного ролика, Нм.

Составим выражение для определения крутящего момента планетарного механизма устройства:

$$M_{\text{кр}} = \frac{M'_{\text{кр}} \cdot n}{i_{\text{кр}}}, \quad (18)$$

где $i_{\text{кр}}$ – передаточное отношение планетарного механизма устройства; n – количество конусных роликов.

Выразим крутящий момент, необходимый для вращения устройства, из формулы (18) и запишем выражение:

$$M_{\text{кр}} = \frac{n \cdot f \cdot \sigma \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \theta \cdot h \cdot (d_1 + d_2) \cdot \left(\tan\left(\alpha + \frac{\beta}{2}\right) - \tan\left(\frac{\beta}{2}\right) \right)}{1440^\circ \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) \cdot \tan\left(\frac{\beta}{2}\right)}. \quad (19)$$

Из выражений (8) и (14), заменив угол γ значением из (1), определим осевую силу внедрения, действующую на один конусный ролик, по формуле:

$$Q' = N \cdot \sin \gamma = \frac{\sigma \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \theta \cdot h \cdot \sin\left(\alpha + \frac{\beta}{2}\right)}{360^\circ \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right)}. \quad (20)$$

Составим формулу для определения осевой силы внедрения, действующей на приводной вал устройства:

$$Q' = \frac{Q}{n}, \quad (21)$$

где Q' – осевая сила внедрения, действующая на один конусный ролик, Н; Q – осевая сила внедрения, действующая на приводной вал устройства, Н.

$$Q = n \cdot Q' = \frac{n \cdot \sigma \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \theta \cdot h \cdot \sin\left(\alpha + \frac{\beta}{2}\right)}{360^\circ \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right)}. \quad (22)$$

Выводы

1. Расписаны математические модели крутящего момента и осевой силы внедрения устройства для глубокого уплотнения грунтов.
2. Определена зависимость крутящего момента на приводном валу от геометрических характеристик устройства для глубокого уплотнения грунтов и от механических характеристик грунта.
3. Определена зависимость осевой силы внедрения от геометрических параметров устройства для глубокого уплотнения грунтов и от механических характеристик грунта.

Литература

1. *Справочник дорожного мастера. Строительство, эксплуатация и ремонт автомобильных дорог: учебно-практическое пособие* / С.Г. Цупиков, А.Д. Гриценко и др. – М.: Инфра-Инженерия, 2005. – 928 с.

2. Машины для земляных работ. Конструкция. Расчет. Потребительские свойства: в 2 кн. Кн. 2: Погрузочно-разгрузочные и уплотняющие машины: учеб. пособие для вузов / В.И. Баловнев, С.Н. Глаголев, Р.Г. Данилов и др.; под общ. ред. В.И. Баловнева. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – 464 с.
3. Abbas, R.K. A review on the wear of oil drill bits (conventional and state of the art approaches for wear reduction and quantification) / R.K. Abbas // *Eng. Fail. Anal.* – 2018. – Vol. 90. – P. 554–584. – <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.03.026>.
4. Abu-Zarifa, A. Theory of Machines / A. Abu-Zarifa // Islamic University of Gaza. Department of Mechanical Engineering. – 2012. – 41p.
5. Baidya, D.K. Investigation of Resonant Frequency and Amplitude of Vibrating Footing Resting on a Layered Soil System / D.K. Baidya, G.M. Krishna // *Geotechnical Testing Journal*. – 2001. – Vol. 24, no. 4. – P. 409–417.
6. Dumn, D.J. Solid mechanics. Dynamics. Tutorial – Damped vibrations / D.J. Dumn. – Handbook, 2007. – 13 p.
7. Dynamic soil compaction – recent methods and research tools for innovative heavy equipment approach / P. Holger, B. Marco, K. Alexander et al. // *The 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF-5)*. – 2015. – No. 125. – P. 390–396. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.11.096.
8. Forssblad, L. Vibratory Soil and Rock Fill Compaction / L. Forssblad. – Stockholm: DynapacMaskin AB, 1981. – 175 p.
9. Gashaw, Y.A. Dozer Production. In *Fundamentals of Earthmoving Equipment* / Y.A. Gashaw. – Addis Ababa, 2009. – 128p.
10. Massarsch, K.R. Deep vibratory compaction of granular soils / K.R. Massarsch, B.H. Fellenius. – Chapter 19 in *Ground Improvement-Case Histories*. – Elsevier publishers, 2005. – P. 633–658.
11. Method of increasing the roughness of the existing road / O. Skrypchenko, K. Katerina, K. Tetiana, A. Bieliatynskiy // *15th International scientific conference «Underground Urbanisation as a Prerequisite for Sustainable Development»*. – 2016. – no. 165. – P. 1766–1770. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.920.
12. Технология и оборудование для глубокого трамбования грунта / В.С. Миронов, П.Я. Фадеев, В.Я. Фадеев, М.С. Мандрик // *Строительные и дорожные машины*. – 2015. – № 8. – С. 2–4.
13. Пат. № 1836527 Российская Федерация. Устройство для раскатки скважин в грунте / Л.М. Бобылев, А.Л. Бобылев; заявители и патентообладатели Л.М. Бобылев, А.Л. Бобылев – № 5000939/03; заявл. 12.07.1991; опубл. 23.08.1993, Бюл. № 31. – 4 с.
14. Пат. № 161212 Российская Федерация. Устройство для раскатки котлованов / Е.И. Кромский, Д.Р. Каюпов, А.С. Гладченко; заявитель и патентообладатель Е.И. Кромский, Д.Р. Каюпов, А.С. Гладченко. – № 2015141387; заявл. 29.09.2015; опубл. 10.04.2016, Бюл. № 10. – 5 с.
15. 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.
16. Пат. № 199875 Российская Федерация. Устройство для глубокого уплотнения грунтов / Е.И. Кромский, С.В. Кондаков, К.А. Гундарев, К.З. Тиллов, М.А. Асфандияров; заявители и патентообладатели Е.И. Кромский, С.В. Кондаков, К.А. Гундарев, К.З. Тиллов, М.А. Асфандияров. – № 2020109847; заявл. 05.03.2020; опубл. 24.09.2020, Бюл. № 27. – 7 с.
17. Самарский, А.А. Математическое моделирование / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – М.: Наука. Физматлит, 1997. – 320 с.
18. Shima, H. Higher Mathematics for Physics and Engineering / H. Shima, T. Nakayama. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. – 711 p.
19. Пономаренко, Ю.Е. Устройство набивных свай с применением винтового рабочего органа / Ю.Е. Пономаренко, Н.Б. Баранов // *Проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях: сб. трудов*. – Уфа: Изд-во Башнистрой, 2006. – С. 115–118.
20. Крагельский, И.В. Коэффициенты трения: справочное пособие / И.В. Крагельский, И.Э. Виноградова // 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Гос. науч.-техн. изд-во машиностр. лит-ры, 1962. – 223 с.

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

Асфандияров Марат Андреевич, аспирант кафедры «Колесные и гусеничные машины», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, loko315@mail.ru.

Гундарев Кирилл Александрович, магистрант кафедры «Колесные и гусеничные машины», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Pioneer03.95@mail.ru.

Поступила в редакцию 27 апреля 2021 г.

DOI: 10.14529/engin210206

MATHEMATICAL MODELING OF A DEVICE FOR DEEP COMPACTION OF SOILS

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

M.A. Asfandiyarov, loko315@mail.ru,

K.A. Gundarev, Pioneer03.95@mail.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

In this article, we consider a schematic diagram of a device for deep compaction of soils using cone rollers located between the driver and the fence at equal angles, due to which the device will represent a natural dynamically balanced mechanical system. The advantages of this device relative to the previous prototypes are indicated. According to the schematic diagram, half of the angle of the entire device is determined, consisting of the angle between the center of the device and the axis of the cone rollers α and the angle of inclination of the forming cone rollers β . According to the scheme of the cone roller, the formula for determining the smaller radius and diameter of the cone roller is expressed. The average radius and the length of the cone roller generatrix are also determined. The scheme of determining the contact area of the cone roller with the ground is considered. According to this scheme, a dependence is made, from which the arc length of the contact area of the cone roller with the ground is determined. The contact area of the forming cone roller with the ground surface is expressed. According to the schematic diagram of the device, the reaction of the support surface of the cone roller to the ground is determined. The formula for determining the stress on the contact surface of the cone roller is written. The formula of the friction force, which is used to determine the necessary torque to start the rotation of a single cone roller, is compiled. The dependence of the torque on the drive shaft on the geometric characteristics of the device and on the mechanical characteristics of the ground, taking into account the number of cone rollers and the gear ratio, is determined. A formula is derived for determining the axial insertion force acting on a single cone roller. The dependence of the axial force of the embedding on the geometric parameters of the device and on the mechanical characteristics of the soil, taking into account the number of cone rollers, is determined.

Keywords: mathematical model, road construction machines, rolling out pits, dynamically balanced system, cone unroller, tapered rollers, deep soil compaction.

References

1. Tsupikov S.G., Gritsenko A.D. et al. *Spravochnik dorozhnogo мастера. Stroitel'stvo, ekspluatatsiya i remont avtomobil'nykh dorog: uchebno-prakticheskoye posobiye* [Handbook of the road master. Construction, operation and repair of highways: training manual]. Moscow: Infra-Engineering, 2005. 928 p.
2. Balovnev V.I., Glagolev S.N., Danilov R.G. et al. *Mashiny dlya zemlyanykh rabot. Konstruktsiya. Raschet. Potrebitel'skiye svoystva: v 2 kn. Kn. 2. Pogruzochno-razgruzochnyye i uplotnyayushchiye mashiny: uchebnoye posobiye dlya vuzov* [Machines for earthworks. Design. Payment. Consumer properties: in 2 kn. Book. 2. Loading and unloading and sealing machines: textbook for universities] Belgorod: Publishing house of BSTU, 2011. 464 p.

3. Abbas R.K. A Review on the Wear of Oil Drill Bits (Conventional and State of the Art Approaches for Wear Reduction and Quantification). *Eng. Fail. Anal.* 2018, vol. 90, pp. 554–584. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.03.026>.
4. Abu-Zarifa A. Theory of Machines. *Islamic University of Gaza. Department of Mechanical Engineering*, 2012. 41 p.
5. Baidya D.K., Krishna G.M. Investigation of Resonant Frequency and Amplitude of Vibrating Footing Resting on a Layered Soil System. *Geotechnical Testing Journal*, 2001, vol. 24, no. 4, pp. 409–417.
6. Dumn D. J. Solid mechanics. Dynamics. Tutorial – Damped vibrations. *Handbook*, 2007. 13 p.
7. Holger P., Marco B., Alexander K. et al. Dynamic Soil Compaction – Recent Methods and Research Tools for Innovative Heavy Equipment Approaches. *The 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF-5)*, 2015, no. 125, pp. 390–396. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.11.096.
8. Forssblad L. Vibratory Soil and Rock Fill Compaction. *DynapacMaskin AB, Stockholm, Sweden*, 1981, 175 p.
9. Gashaw Y.A. Dozer Production. In *Fundamentals of Earthmoving Equipment. Addis Ababa, Ethiopia*, 2009. 128 p.
10. Massarsch K.R., Fellenius B.H. Deep Vibratory Compaction of Granular Soils. Chapter 19 in *Ground Improvement-Case Histories, Elsevier publishers*, 2005. P. 633–658.
11. Skrypchenko O., Katerina K., Tetiana K., Bieliatynskyi A. Method of Increasing the Roughness of the Existing Road. *15th International scientific conference “Underground Urbanisation as a Prerequisite for Sustainable Development”*. 2016. № 165. P. 1766 – 1770. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.920.
12. Mironov V.S., Fadeev P.Y., Fadeev V.Y., Mandrik M.S. Technology and Equipment for Deep Rammed Soil. *Construction and road machines*, 2015, no. 8, pp. 2–4.
13. Bobylev L.M., Bobylev A.L. *Ustroystvo dlya raskatki skvazhin v grunte* [A Device for Rolling Wells in the Ground]. Patent no. 1836527 Russian Federation, 1993, Bul. no. 31. 4 p.
14. Kromsky E.I., Kayupov D.R., Gladchenko A.S. *Ustroystvo dlya raskatki kotlovanov* [Device for Rolling Out Pits]. Patent no. 161212 Russian Federation, 2016, Bul. no. 10. - 5 p.
15. Heins E., Seitz K.-F., Chmelnizkij A. et al. Advances in Numerical Modelling of Different Ground Improvement Techniques. *Geotechnical Engineering*, 2017, no. 48(3), pp. 87–94.
16. Kromsky E.I., Kondakov S.V., Gundarev K.A., Tillov K.Z., Asfandiyarov M.A. *Ustroystvo dlya glubokogo uplotneniya gruntov* [A Device for Deep Compaction of Soils]. Pat. no. 199875 Russian Federation, 2020, Bul. no. 27. 7 p.
17. Samarsky A.A., Mikhailov A.P. *Matematicheskoye modelirovaniye* [Mathematical modeling]. Moscow. Science. Fizmatlit, 1997. 320 p.
18. Shima H., Nakayama T. Higher Mathematics for Physics and Engineering. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 2010. 711 p.
19. Ponomarenko Y.E., Baranov N.B. *Ustroystvo nabivnykh svay s primeneniym vintovogo rabocheho organa* [The Device of Rammed Piles with the Use of a Screw Working Body]. [Problems of soil mechanics and foundation construction in difficult soil conditions: Collection of articles works. Ufa: Publishing house of Bashniistroy], 2006, pp. 115–118.
20. Kragelsky I.V., Vinogradov I.E. *Koeffitsiyenty treniya. Spravochnoye posobiye* [Coefficients of friction. Reference manual, 2nd ed., Rev. and add]. Moscow. State. scientific and technical publishing house of machine building. literature, 1962. 223 p.

Received 27 April 2021

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Кондаков, С.В. Математическое моделирование устройства для глубокого уплотнения грунтов / С.В. Кондаков, М.А. Асфандияров, К.А. Гундарев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2021. – Т. 21, № 2. – С. 52–59. DOI: 10.14529/engin210206

FOR CITATION

Kondakov S.V., Asfandiyarov M.A., Gundarev K.A. Mathematical Modeling of a Device for Deep Compaction of Soils. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2021, vol. 21, no. 2, pp. 52–59. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin210206