

УДК 624.04(075)

DOI: 10.46960/1816-210X_2023_1_125

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГУСЕНИЧНОГО ЭКСКАВАТОРА С НОВЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

К.З. Тиллоев

ORCID: 0000-0001-7237-2370 e-mail: kudratullo.tilloev@bk.ru

Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими

*Душанбе, Таджикистан***С.В. Кондаков**

ORCID: 0000-0003-2088-8994 e-mail: tanksv@mail.ru

Южно-Уральский государственный университет

*Челябинск, Россия***Д.А. Шарифов**

ORCID: 0000-0002-5749-3067 e-mail: sharifov.mexroj@mail.ru

Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими

Душанбе, Таджикистан

Исследовано сменное навесное оборудование экскаватора, применяемого на строительных площадках для выполнения земляных работ. Приведена оценка эффективности использования конусного рабочего органа на базе гусеничного экскаватора для глубинного уплотнения грунтовых оснований под фундаменты строительных объектов и сооружений, который снижает затраты на его возведение. Для оценки эффективности технологического оборудования (конусного раскатчика) выполнен сравнительный анализ агрегата для глубокого трамбования грунта на базе гусеничного экскаватора ЭО-5124, разработанного специалистами Института Гидродинамики г. Новосибирска, и конусного раскатчика на базе гусеничного экскаватора ЕК-270 для глубинного уплотнения грунта по следующим параметрам: производительность, технологический цикл, временные показатели и энергетические затраты на выполнение работы.

Ключевые слова: эффективность, гусеничный экскаватор, конусный раскатчик, глубинное уплотнение грунта, просадочные грунты, сравнительный анализ, технологический цикл, временные показатели, производительность.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Тиллоев, К.З. Оценка эффективности гусеничного экскаватора с новым технологическим оборудованием / К.З. Тиллоев, С.В. Кондаков, Д.А. Шарифов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2023. № 1. С. 125-132. DOI: 10.46960/1816-210X_2023_1_125

EFFECTIVENESS EVALUATION OF CRAWLER EXCAVATOR WITH NEW PROCESSING EQUIPMENT

K.Z. Tilloev

ORCID: 0000-0001-7237-2370 e-mail: kudratullo.tilloev@bk.ru

Tajik Technical University n.a. academician M.S. Osimi

*Dushanbe, Tajikistan***S.V. Kondakov**

ORCID: 0000-0003-2088-8994 e-mail: tanksv@mail.ru

South Ural State University

Chelyabinsk, Russia

D.A. Sharifov

ORCID: **0000-0002-5749-3067** e-mail: **sharifov.mexroj@mail.ru**

Tajik Technical University n. a. academician M.S. Osimi

Dushanbe, Tajikistan

Abstract. Integral implements for excavators used for earthwork operations at construction plants are studied. Presented is effectiveness evaluation of a cone-shaped implement mounted on a crawler excavator for deep soil compaction for foundations of construction objects and buildings which reduces costs associated with its building-up. To evaluate effectiveness of the processing equipment – cone-shaped spreader – comparative study of deep soil tamping aggregate mounted on E'O-5124 crawler excavator designed by Novosibirsk Institute of Hydrodynamics specialists and cone-shaped spreader mounted on EK-270 crawler excavator for deep soil compaction is performed using following criteria: performance, process cycle, time indices and energy cost of conducting operations.

Key words: effectiveness, crawler excavator, cone-shaped spreader, deep soil compaction, collapsible soil, comparative study, process cycle, time indices, performance.

FOR CITATION: K.Z. Tilloev, S.V. Kondakov, D.A. Sharifov. Effectiveness evaluation of crawler excavator with new processing equipment. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2023. № 1. Pp. 125-132.
DOI: 10.46960/1816-210X_2023_1_125

Введение

Развитие жилого фонда является одной из важнейших составляющих развития экономики страны. Строительство жилых комплексов и промышленных зданий в местах с просадочными грунтовыми свойствами осложнено трудностями в период эксплуатации в связи с появлением деформаций в основании фундаментов. Просадочные грунты (лессовые, супеси, пески и т.д.), плотность которых доходит до $\rho \leq 1.65 \text{ т/м}^3$, должны быть уплотнены до состояний, минимизирующих просадки и водопроницаемость. Для этого нужно технологическое оборудование, способное эффективно уплотнять грунты с просадочными свойствами путем механического воздействия, что требует при строительстве объекта до 15 % дополнительных вложений.

Современные грунтоуплотняющие машины (катки поверхностного уплотнения и глубинно-трамбуемое навесное оборудование) не в полной мере обеспечивают требуемое уплотнение таких грунтов, а если и обеспечивают – то с большими затратами [1-4]. При этом в мире широко применяются технологии глубинного уплотнения грунтов методом образования скважин при помощи оборудования в виде многотонных конусообразных по форме грузов, либо раскатчиков в виде винта. Применение этих рабочих органов позволяет уплотнять грунт глубиной до 6 м. При использовании данного метода на 20-30 % увеличивается плотность грунта, структура однородности улучшается, уменьшается просадочность грунта после уплотнений, уменьшается водопроницаемость, и в 2-3 раза увеличивается его несущая способность [5-8].

На рис. 1 приведена классификация оборудования динамического и статического воздействия на рабочий орган для глубинного уплотнения грунта, которая служит началом определения оценки эффективности конусного раскатчика [9]. Анализируя параметры приведенного оборудования, автор [9] пришел к выводу, что статическая нагрузка на рабочий орган, а именно взаимодействие рабочего органа с грунтом перекатыванием является наиболее эффективным, так как в этих видах оборудования отсутствуют вибрационные характеристики, и они не влияют на вблизи стоящие объекты. Контактная поверхность рабочего органа со скважиной составляет примерно 20 %. Для этого не требуются использования базовой машины большого типоразмера и мощности.

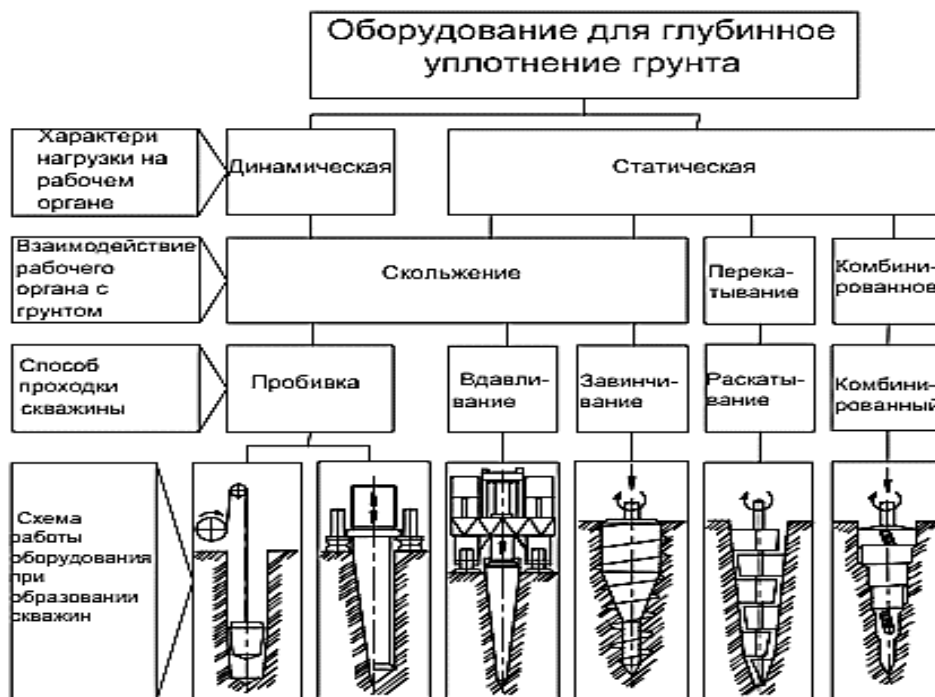


Рис. 1. Классификация оборудования для глубинного уплотнения грунта

Fig. 1. Classification of equipment for deep soil compaction

Новосибирскими и омскими учеными разработана конструкция менее энергоемкого устройства – многокаткового винтового раскатчика, который работает по методу образования скважин и котлованов. Преимущества данного рабочего органа, в отличие от набивных устройств, состоит в статическом воздействии на грунт при образовании скважин, установке рабочего органа на базовые машины меньшего типоразмера, свойствах самозавинчивания, благодаря расположению катков и возможности образования скважин на большой расстоянии, до 100 м (рис. 2) [9-11].

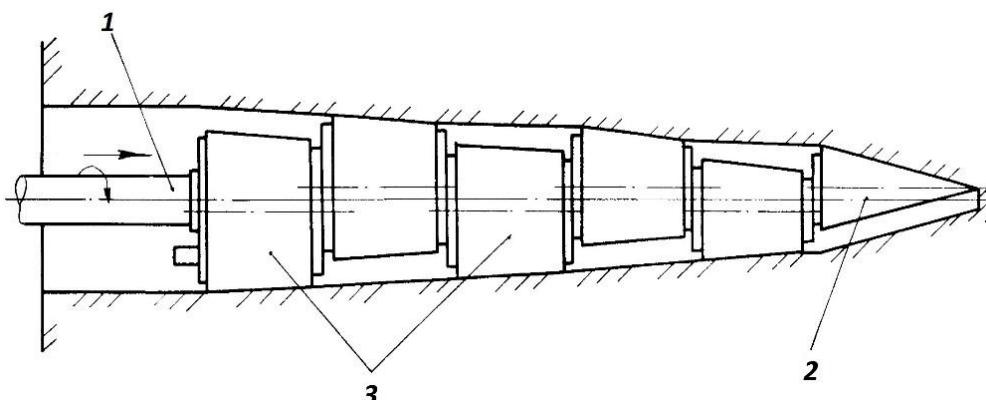


Рис. 2 Многокатковый винтовой раскатчик:

1 – вал; 2 – наконечник; 3 – каток

Fig. 2. Multiple roller helical spreader:

1 – shaft; 2 – head; 3 – roller

Оценка эффективности использования многокаткового винтового раскатчика сравнительно низка в связи с сложностью конструкции, состоявшей из нескольких катков (3), на вращающиеся механизмы и торцы которых при работе попадают абразивные материалы.

В.С. Миронов, профессор Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (СИБСТРИН), совместно со специалистами института гидродинамики Сибирского отделения РАН разработал эффективный рабочий орган для глубинного трамбования местных просадочных грунтов, который за смену вытрамбовывает до 30-ти скважин. Для изготовления одной скважины затрачивается 15-17 мин (рис. 3) [12].



Рис. 3. Агрегат для глубинного трамбования грунта

Fig. 3. Deep soil tamping aggregate

Механизмы рабочего оборудования всегда взаимосвязаны с машиной и формируют технологическую систему, показатель эффективности которой обладает несколькими основными преимуществами, например, коэффициентом полезного действия, энергозатратами, производительностью, использованием базового экскаватора V-го типоразмера. В отличие от падающих трамбовок (трамбовки бывают чугунные или железобетонные, круглые и квадратные по форме, площадь плит около 1 м^2 и масса до 3 т, базовая машина – самоходный кран и драглайн), широко используемых на строительных площадках, данный агрегат (рис. 2) обладает повышенной производительностью (в 5-8 раз) и уплотненностью структуры грунта, улучшающей просадочные свойства грунта благодаря динамическому воздействию гидромолотом до $10 \dots 15 \text{ кДж}$ [12,13]. В то же время, для оборудований глубинных уплотнений его производительность является относительно низкой в связи с большой площадью контактной поверхности применяемого агрегата с грунтом, достигающей $3,5 \text{ м}^2$ и большой массой рабочего агрегата, равной 13 т.

Конусный раскатчик на базе экскаватора (1) имеет обширный технологический потенциал, в том числе, при работе с различными грунтами (рис. 4). Экскаватор с конусным раскатчиком (1) может быть использован в качестве эффективного средства для уплотнения грунтовых насыпей для оснований дорог и при строительстве промышленных и гражданских объектов [14-17]. Требование к работе конусного раскатчика (1) – пересечение оси гидровращателя (2) с осью прецессирующего вала на острие рабочего органа для перпендикулярного движения с образующей скважиной. В этом случае рабочий орган движется в сторону оси скважиной. В результате уплотнение грунта осуществляется на боковой поверхности скважины.

Благодаря небольшой массе (1,5 т) рабочего органа (1) и гидровращателя (2), подвешенного на траверсе (3), в качестве базовой машины можно использовать экскаватор 3-го типоразмера для уменьшения временного показателя, чтобы увеличить технологический процесс образования скважин и повысить производительность на 20-25 %.

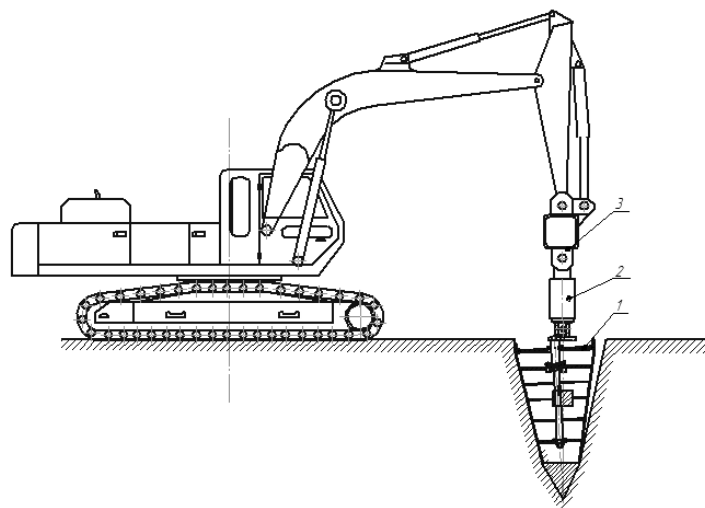


Рис. 4. Гусеничный экскаватор с конусным раскатчиком:
 1 – рабочий орган (раскатчик); 2 – гидровращатель; 3 – траверса

Fig. 4. Crawler excavator with cone-shaped spreader:
 1 – implement (spreader); 2 – hydraulic rotator; 3 – cross dike

Теоретическое исследование

Оценка эффективности нового рабочего оборудования экскаватора осуществляется на всех стадиях его проектирования и производства с помощью параметров технологических циклов, временных показателей и энергетических затрат на выполнение работы. Производительность является главным показателем, отображающим эффективность использования конусного раскатчика для глубокого уплотнения грунта методом образования скважин и котлованов. Пользуясь подобием треугольника (рис. 5), определяем вертикальное внедрение конусного раскатчика $h_{\text{вер}}$,

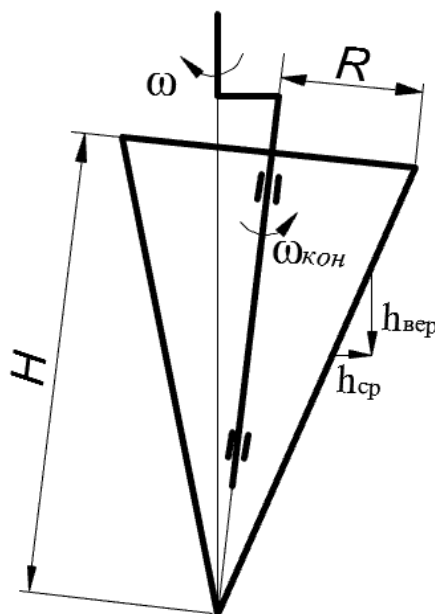


Рис. 5. Кинематическая схема определения $h_{\text{вер}}$

Fig. 5. Travel diagram, defining $h_{\text{вер}}$

где: h_{cp} – среднее вдавливание грунта в среднем сечении конуса, $h_{cp}=2,7$ мм, ω – угловая скорость вращения конуса относительно своей оси $\omega=6,8$ р/с [17]. Вертикальное внедрение конусного раскатчика составляет $h_{вер}=10,8$ мм за один оборот вращения.

Угловая скорость вращения конуса является важным показателем для определения вертикального перемещения конуса и находится по формуле:

$$\omega_{кон} = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{6,8}{6,28} = 1,08 \text{ об/с.} \quad (1)$$

Скорость вертикального перемещения конуса определена по формуле:

$$V_{вер} = h_{вер} \cdot \omega_{кон} = 10,8 \frac{\text{мм}}{\text{об}} \cdot 1,08 \frac{\text{об}}{\text{с}} = 11,66 \frac{\text{мм}}{\text{с}} \quad (2)$$

Таким образом, скорость вертикального перемещения рабочего органа составляет 11,66 мм/с. При раскатке скважины глубиной 4 м – затраченное время раскатки составляет:

$$t_{рас} = \frac{H}{V_{вер}} = \frac{4000}{11,66} = 343 \text{ с} = 5,7 \text{ мин.} \quad (3)$$

С учетом извлечения рабочего органа из скважины и передвижения стрелы экскаватора для образования следующей скважины, технологическое время раскатки одной скважины равно $T_{ц} = 12-14$ мин. Сменная технологическая производительность (8 ч) конусного раскатчика определена по формуле:

$$P_c = \frac{8 \cdot 60}{T_{ц}} = 34 - 40 \text{ скважин.} \quad (4)$$

Известно [18,19], что на образование одной скважины затрачивается примерно 15-17 мин, что на 20-25 % больше, чем у конусного раскатчика.

Результаты исследования

Выполнено сравнение агрегата для глубинного трамбования грунта на базе экскаватора ЭО-5124 и конусного раскатчика на базе экскаватора ЕК-270 (табл. 1).

Таблица 1.

Сравнение показателей характеристик производительности

Table 1.

Comparing indices of performance rating

Показатели	Обозначение	Единица измерения	Источник данных	
			Базовая техника	Новая техника
			Агрегат для глубокого трамбования грунта	Конусный Раскатчик
1	2	3	4	5
Модель базовой машины			ЭО-5124	ЕК-270
Масса базовой машины	G	Кг	40000	27700
Эксплуатационная мощность базовой машины	N	кВт	125	132
Габаритные размеры навесного оборудования	DxL	Мм	500x4000	600x1400
Масса навесного оборудования	G	Кг	13000	1500

Окончание табл. 1.

Сравнение показателей характеристики производительности

Table 1 (continued).
Comparing indices of performance rating

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Затрачиваемое время на образование одной скважины	t	минут	15-17	12-14
Производительность за одну смену	П	шт/скважин	30	34-40

Выводы

1. Выполнен сравнительный анализ эффективности применения нового рабочего оборудования на базе гусеничного экскаватора ЕК-270 и существующего агрегата для трамбования грунтов по сменной производительности и времени технологического процесса образования скважины.

2. Анализ показал, что новый рабочий орган гусеничного экскаватора в виде конусного раскатчика более эффективен за счет уменьшения времени в технологическом процессе уплотнения грунта на одну скважину с 15-17 мин до 12-14 мин, сменная производительность увеличивается на 20-25 %.

Библиографический список

1. **Баловнев, В.И.** Дорожно-строительные машины и комплексы: Учебник для вузов [Текст] / В.И. Баловнев, Г.В. Кустарев и др. 2-е изд. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2001. – 528 с.
2. **Баловнев, В.И.** Машины для земляных работ. Контракция. Расчет. Потребительские свойства: в 2 кн. Кн. 2. Погрузочно-разгрузочные и уплотняющие машины: учеб. пособие для вузов [Текст] / 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. **Баловнев, В.И.** Машины для земляных работ: контракция, расчет, потребительские свойства: в 2 кн. Кн. 1. Экскаваторы и землеройно-транспортные машины: учеб. пособие для вузов [Текст] / В.И. Баловнев, С.Н. Глаголев, Р.Г. Данилов и др.; под общ. ред. В.И. Баловнева. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – 401 с.
4. **Хархута, Н.Я.** Машины для уплотнения грунтов [Текст] / Н.Я. Хархута. – М.: Машиностроение, 1973. – 176 с.
5. Patent US 20110305527, Int. Cl. E02D5/36. Device and method for drilling and compacting ground / J. Curic, P. Cavalcoli, E. Biserna (BE). – Appl. US13/160,224; Filed: Jun 14, 2010; Date of Patent: Aug. 20, 2013.
6. Patent US 4458765, Int. Cl. E21B 7/26. Tool for forming of hole in macroporous compressible soil / V.I. Feklin, A.N. Mironenko, S.V. Shatov, N.S. Shvets, J.A. Kirichek (SU). – Appl. No: 377684; Filed: May 12, 1982; Date of Patent: Jul. 10, 1984.
7. **Мангушев, Р. А.** Современные свайные технологии: учеб. пособие для вузов по строит. специальностям / Р.А. Мангушев, А.В. Ершов, А.И. Осокин. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2010. – 235 с.
8. **Мангушев, Р.А.** Современные свайные технологии: учеб. пособие [Текст] / Р.А. Мангушев, А.В. Ершов, А.И. Осокин. М.: Изд-во АСВ, 2010. – 240 с.
9. **Лис, В.Д.** Многокатковые раскатывающие проходчики скважин. Теория, расчет, проектирование: учеб. пособие [Текст] / В.Д. Лис. – СПб.: Лань, 2019. – 332 с.
10. **Лис, В.Д.** Разработка конструкции и обоснование основных параметров раскатывающего рабочего органа для проходки скважин в грунте: дисс. ... кандидата технических наук: 05.05.04. – Омск, 2005. – 182 с.

11. **Луцкий, С.Я.** Интенсивная технология упрочнения слабых оснований земляного полотна [Текст] / С.Я. Луцкий, А.Б. Саун // Транспортное строительство. 2015. № 8. С. 18-22.
12. **Кохан, И.О.** Способы глубинного уплотнения грунтовых оснований [Текст] / И.О. Кохан, К.В. Крюков // Композитные материалы в строительстве объектов транспортной инфраструктуры: материалы научно-практической конференции. – СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2017. – С. 46-53.
13. **Мионов, В.С.** Технология и оборудование для глубокого трамбованье грунта [Текст] / В.С. Мионов, П.Я. Фадеев. В.Я. Фадеев, М.С. Мандрик // Строительные и дорожные машины. 2015. – № 8. С.2-4.
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.
15. **Kromsky E.I., Kondakov S.V., Tilloev K.Z.** (2020) Promising Machine for Compacting Road-Building Materials. Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). Vol. 1. P. 21-28.
16. **Тиллоев, К.З.** Выбор рациональных параметров конусного раскатчика для глубокого уплотнения оснований дорог [Текст] / К.З. Тиллоев, Е.И. Кромский, С.В. Кондаков // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. № 1. С. 82-89.
17. **Тиллоев, К.З.** Разработка нового рабочего оборудования для глубокого уплотнения грунта в виде конусного раскатчика: дисс. ... кандидата технических наук: 05.05.04. – Нижний Новгород, 2021. - 136 с.
18. **Пономаренко, Ю.Е.** Повышение эффективности устройства свайных фундаментов в уплотняемых грунтах: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.23.08: защищена 2002. – 332 с.
19. **Пономаренко, Ю.Е.** Создание и выбор основных параметров навесного оборудования для пробивки конических скважин под набивные сваи: дисс. ... канд.техн.наук. – М.: ВНИИСтройдормаш, 1985. –178 с.

*Дата поступления
в редакцию: 25.11.2022*

*Дата принятия
к публикации: 03.03.2023*