

УДК 621.879.3

А. Э. КОСТИН, Д. Г. БЕЛИЦКИЙ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОПАНИЯ ГРУНТА
ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ГРЕЙФЕРОМ ПРИ ПЛОСКОЙ ИСХОДНОЙ
ГРУНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Аннотация. На основании обзора разработок ведущих производителей грейферов представлены особенности грейферных ковшей для земляных работ. Определено, что в общем сопротивлении грунта копанию сопротивление резанию составляет наибольшую долю. Условившись считать исходную грунтовую поверхность плоской, а текущие траектории резания - круговыми, определены зависимости сопротивления грунта копанию от угла поворота челюсти грейфера по формулам Домбровского-Горячкина и А. Н. Зеленина. Проведен численный сравнительный анализ данных формул.

Ключевые слова: грейфер, ковш, резанье, грунт.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Многие производители (Fuchs, Liebherr, Caterpillar и др.) предлагают столь актуальное навесное оборудование, как грейфер. С ним можно решить разные задачи: вырыть глубокий котлован или яму, очистить канал или пруд и т. д. Оборудование предназначено для эксплуатации в составе гидравлического экскаватора, который может использоваться для рытья и выемки естественного грунта, подъема грузов, рытья кабельных шахт, рвов, погрузки и разгрузки щебня, песка, земли и т. д.

Общие конструктивные особенности грейферов для производства земляных работ:

- боковые и нижние режущие кромки изготовлены из высокопрочной мелкозернистой стали (твердость по Бринеллю 450);
- поворотный механизм с гидравлическим вращением может работать непрерывно;
- горизонтально расположенный гидроцилиндр с защитой;
- кованые зубья;
- защита цилиндров и подключений гидравлических шлангов на ротаторе;
- подвеска и комплект шлангов для всех известных моделей экскаваторов;
- дополнительно грейфер может быть укомплектован удлинением, грузовым крюком, сменными зубьями, специализированными челюстями по техническим условиям заказчика и другим специальным оборудованием [1].

Несмотря на широкую область применения грейферных рабочих органов, грейфера для земляных работ все еще редко можно встретить в эксплуатирующих организациях. Это объясняется тем, что теория разработки грунта гидравлическим грейфером недостаточно освещена в научно-технической литературе.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В общем сопротивлении грунта копанию сопротивление резанию составляет наибольшую долю, которую можно оценить отношением удельных значений этих величин. Согласно источнику [2] для грунтов III–IV категорий эта доля составляет от 71 до 82 %. В составе же сопротивления резанию для тех же грунтов доля свободного резания, по данным Ю. А. Ветрова [3], достигает 82,4...97,5 %. Из этого следует, что свободное резание является основной составляющей также в составе сопротивления грунта копанию – в среднем около 70 %.

ЦЕЛЬ

Исследовать изменения сопротивлений резанию плоской исходной грунтовой поверхности челюстями гидравлического грейферного ковша при круговой траектории резания.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Рассмотрим модель свободного резания для решения задачи о сопротивлении грунта копанию по траекториям большой кривизны, как имеющую наиболее простую геометрию поверхности, по которой от массива отделяется грунтовое тело. В первом приближении эту поверхность допустимо представить плоскостью.

С использованием модели свободного резания представляется следующая стратегия определения сопротивления грунта копанию как функции координаты пути перемещения режущей кромки землеройного инструмента. Максимальное значение касательной составляющей этого сопротивления P_{01} определим по известной формуле Домбровского-Горячкина, в которой составляющую свободного резания $P_{св.р.}$ примем с учетом влияния изменчивости толщины грунтовой стружки:

$$P_{01} = P_{01}^* \cdot (1 - m^*) + P_{св.р.}, \quad (1)$$

где P_{01}^* – касательная составляющая сопротивления грунта копанию без учета влияния изменчивости толщины грунтовой стружки;
 m^* – доля сопротивления свободному резанию в составе P_{01}^* .

Здесь и далее символами со звездочкой (*) обозначены величины, определяемые без учета влияния изменчивости толщины стружки. Термин «изменчивость толщины грунтовой стружки» следует понимать как производную толщины стружки по пути копания. Величину $P_{св.р.}$ можно представить как соответствующую составляющую в составе сопротивления P_{01}^* , умноженную на коэффициент u , учитывающий изменчивость толщины стружки:

$$P_{св.р.} = P_{01}^* \cdot m^* \cdot u, \quad (2)$$

после чего выражение (1) представим в виде:

$$P_{01} = P_{01}^* \cdot (1 - m^*) + P_{01}^* \cdot m^* \cdot u = P_{01}^* \cdot [1 + m^* (u - 1)]. \quad (3)$$

Таким образом, для определения касательной составляющей сопротивления грунта копанию при любой геометрической форме исходной поверхности требуется найти величины P_{01}^* и u . Параметр m^* определяется по данным предшествующих исследований [2, 3] или путем постановки специальных опытов с определением в них величин P_{01}^* и $P_{св.р.}$ в одном и том же грунте с последующим вычислением отношения $m = P_{св.р.} / P_{01}^*$. В этом разделе рассмотрим методы определения величин P_{01}^* и u для случаев одной, двух и трех цилиндрических исходных (дневных) поверхностей, а по ним – касательной составляющей сопротивления грунта копанию, учитывающей геометрию поверхностей.

Из-за податливости металлоконструкций стрелы и рукояти экскаватора, находящихся в напряженно-деформированном состоянии в процессе экскавации грунта, «сжимаемости» рабочей жидкости в гидроцилиндрах привода этих элементов рабочего оборудования и в гидролиниях, а также податливости грунтового основания под опорной поверхностью экскаватора при копании грунта поворотом ковша полюс вращения ковша – шарнир его соединения с рукоятью – непрерывно изменяет свое положение, так что траектории движения режущих кромок зубьев ковша (траектории резания) отличаются от круговых. Поэтому и исходные (дневные) поверхности, образованные предшествующими операциями, и текущие траектории резания описываются случайными кривыми как результат сложения абсолютного (движение режущих кромок зубьев относительно полюса вращения шарнира ковша) и переносного (перемещение полюса вращения вследствие описанных выше деформативных явлений) движений. Условимся считать траектории резания, исходные и текущие, круговыми.

В случае плоской исходной поверхности из массива вырезается грунтовое тело сегментного поперечного сечения (рисунок 1). Для любого положения режущих кромок ковша, определяемого углом α поворота последнего (с началом отсчета от биссекторной плоскости сегмента), толщина грунтовой стружки, определяемая по нормали к траектории резания, составит:

$$h = R \cdot \left[1 - \frac{\cos \alpha_{сп}}{\cos (\alpha_{сп} - \alpha_i)} \right], \quad (4)$$

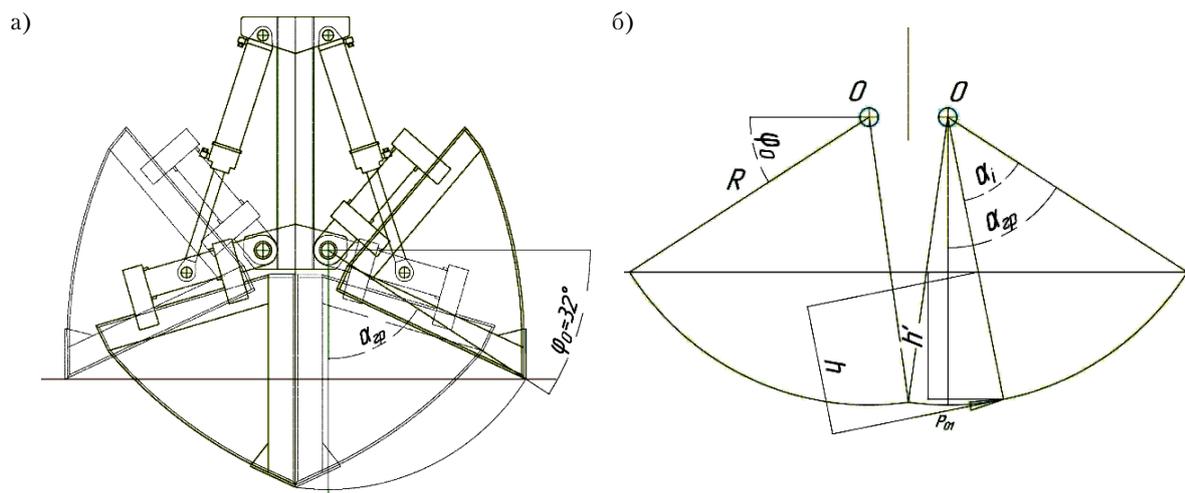


Рисунок 1 – Резанье при плоской исходной поверхности: а) грейферный ковш; б) расчетная схема.

где R – радиус вращения режущих кромок зубьев грейферного ковша;
 $\alpha_{сп}$ – угол дуги резания от исходной поверхности до максимальной глубины;
 α_i – текущий угол поворота челюсти.

Согласно формуле Домбровского-Горячкина сопротивление грунта резанию определим:

$$P_p = k_1'bh = k_1'bR \cdot \left[1 - \frac{\cos \alpha_{сп}}{\cos (\alpha_{сп} - \alpha_i)} \right], \quad (5)$$

где k_1' – удельное сопротивление грунта резанию;
 b – ширина грунтовой прорези, равная ширине ковша.

Сопротивление грунта копанию для двух категорий грунта (II и III), определим по аналогичной формуле через k_1 – удельное сопротивление грунта копанию (рисунок 2):

$$P_{01} = k_1bh = \left[1 - \frac{\cos \alpha_{сп}}{\cos (\alpha_{сп} - \alpha_i)} \right]. \quad (6)$$

Результаты численного анализа приведены на рисунке 2 (линия 1 – для II-й категории грунта, линия 2 – для III-й категории грунта)

Согласно исследованиям А. Н. Зеленина [4] сопротивление грунта копанию при произвольном положении ковша для двух категорий грунта (II и III) определим по формуле:

$$P_{01} = K \cdot R^{1,35} \cdot \cos[(\varphi - \beta) - \cos \varphi]^{1,35}, \quad (7)$$

где R – радиус копания;
 φ – угол дуги резания от исходной поверхности до максимальной глубины;
 β – текущий угол поворота челюсти.

Коэффициент K для ковша без зубьев равен:

$$K = 10 \cdot C \cdot (1 + 2,6L) \cdot (1 + 0,0075\alpha) \cdot (1 + 0,3S) \cdot \nu \cdot \mu, \quad (8)$$

где C – число ударов плотномера ДорНИИ (II категория грунта – 6 ударов, III категория грунта – 12 ударов);
 L – длина горизонтальной режущей кромки ковша;
 α – координата режущей кромки в момент начала резания и осью ее поворота;
 S – толщина стенок ковша;
 ν – коэффициент, зависящий от угла заострения режущей кромки челюсти (принимается равным 0,9);
 μ – коэффициент, зависящий от степени блокировки стружки (при заблокированном резании = 1) [5].

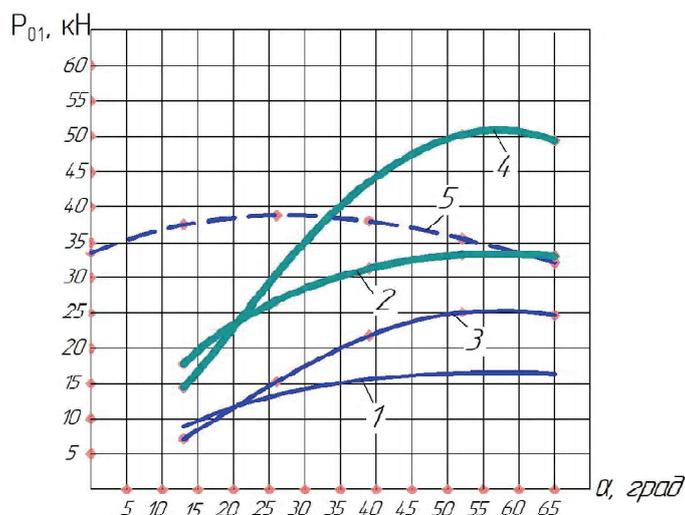


Рисунок 2 – Сравнительный график зависимости сопротивления грунта копанию (при движении режущей кромки по радиусу) от угла поворота челюстей грейфера, где кривая 1 и 2 – соответственно для II-й и III-й категории грунта по формуле Домбровского-Горячкина, кривая 3 и 4 – соответственно для II-й и III-й категории грунта по формуле А. Н. Зеленина, кривая 5 – активное усилие на режущей кромке, возникающее от действия гидроцилиндра закрытия челюстей ковша.

При зачерпывании по радиусу, угол резания будет постоянным. Он зависит от конструкции грейфера и характеризуется взаимным расположением координат режущей кромки в момент начала резания и осью ее поворота. Для исследуемого грейферного ковша, угол $\varphi_0 = \alpha = 32^\circ$. Активное усилие на зубьях ковша, при использовании в качестве привода челюсти гидроцилиндра с диаметром поршня 0,08 м, находится в пределах 32...39 кН (рисунок 2, кривая 5).

После построения графиков (рисунок 2) по формулам сопротивления грунта копанию, предложенным Домбровским-Горячкиным (рисунок 2, кривые 1 и 2) и А. Н. Зелениным (рисунок 2, кривые 3 и 4), можно проследить явную зависимость: с увеличением угла закрытия челюстей, а соответственно и глубины копания (при условии движения режущей кромки по радиусу) увеличивается сопротивление грунта копанию.

Сопоставляя кривые 2, 4, 5, видно, что формула А. Н. Зеленина говорит в пользу невозможности для заданного грейферного ковша копать грунты III-й категории круговыми траекториями, в то время как формула Домбровского-Горячкина допускает такую возможность. На сегодняшний день практически и формула Н. Г. Домбровского, и формула А. Н. Зеленина имеют равноправное применение в практике расчета землеройных машин.

ВЫВОД

Формула Зеленина показывает несколько завышенные показатели сопротивления грунта резанию челюстями грейфера по сравнению с формулой Домбровского-Горячкина. Подтвердить или опровергнуть справедливость применения той или иной формулы для грейфера может только эксперимент.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидравлические грейферы для земляных работ Грейфер HGT [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа : <https://greifer-hgt.ru/>. – Заг. с экрана.
2. Машины для земляных работ [Текст] : учеб. для вузов / Д. П. Волков, В. Я. Крикун, П. Е. Тоголин и др. ; Под ред. Д. П. Волкова. – Москва : Машиностроение, 1992. – 500 с.
3. Ветров, Ю. А. Резание грунтов землеройными машинами [Текст] / Ю. А. Ветров. – Москва : Машиностроение, 1971. – 380 с.
4. Машины для земляных работ [Текст] : учебное пособие для вузов / А. Н. Зеленин, В. И. Баловнев, И. П. Керов. – Москва : Машиностроение, 1975. – 422 с.
5. Федоров Д. И. Рабочие органы землеройных машин [Текст] / Д. И. Федоров. – [2-е изд., переработ. и доп.]. – Москва : Машиностроение, 1989. – 368 с.

Получено 27.04.2018

А. Е. КОСТИН, Д. Г. БЕЛИЦЬКИЙ
ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОПАННЯ ҐРУНТУ ГІДРАВЛІЧНИМ
ГРЕЙФЕРОМ ПРИ ПЛОСКІЙ ВИХІДНІЙ ҐРУНТОВІЙ ПОВЕРХНІ
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. На підставі огляду розробок провідних виробників грейферів представлені особливості грейферних ковшів для земляних робіт. Визначено, що в загальному опорі ґрунту копанню опір різанню становить найбільшу частку, домовившись вважати вихідну ґрунтову поверхню плоскою, а поточні траєкторії різання – круговими, визначені залежності опоры ґрунту копання від кута повороту щелепи грейфера за формулами Домбровського-Горячкіна і О. Н. Зелєніна. Проведено чисельний порівняльний аналіз даних формул.

Ключові слова: грейфер, ківш, різання, ґрунт.

ARTEM KOSTIN, DMYTRO BELYTSKYI
INVESTIGATION OF SOIL DIGGING PARAMETERS BY A HYDRAULIC GRAB
WITH A FLAT INITIAL GROUND SURFACE
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. Based on the review of leading manufacturers of grabs, features of bucket buckets for excavation work are presented. It is determined that, in general, the resistance of the ground to cutting is the largest fraction. Having agreed to consider the initial ground surface as flat, and the current trajectory of cutting as circular, the dependence of the soil resistance on digging from the angle of rotation of the jaw of the grapple is determined by the formulas of Dombrovsky-Goryachkin and A. Zelenin. Numerical comparative analysis of these formulas is carried out.

Key words: grab, bucket, cutting, soil.

Костин Артём Эдуардович – магістрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: грейферные рабочие органы.

Белицкий Дмитрий Григорьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации и сервиса автомобилей, технологических машин и оборудования ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: повышение эффективности разработки грунтов грейферными рабочими органами.

Костін Артем Едуардович – магістрант ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: грейферні робочі органи.

Белицкий Дмитрий Григорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів, технологічних машин і обладнання ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: підвищення ефективності розробки ґрунтів грейферними робочими органами.

Kostin Artem – Master's degree student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: clamshell working bodies.

Belytskyi Dmytro – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technical Exploitation and Service of Automobiles, Technological Machines and Equipment Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: increase of efficiency of ground development by clamshell working organ.