

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3-4

«Машины для земляных работ»

2.1. Цель и задачи работы

При проведении данной работы студенты должны изучить в лабораторных условиях процесс копания грунта моделью ковша драглайна, теоретические сведения о котором получены ими на лекции. Кроме того, в результате проделанной лабораторной работы студенты должны приобрести элементарные навыки экспериментального исследования взаимодействия рабочего органа землеройной машины с грунтом и наглядно убедиться в правильности принятого в экскаваторных расчетах метода определения внешних нагрузок, действующих на ковш экскаватора. Лабораторная работа способствует выявлению основных навыков получения и исследования параметров процесса копания, так как в ходе ее студенты определяют реактивные составляющие общего сопротивления грунта копанию, их значения и факторы, влияющие на величину сопротивления копанию.

2.2. Основные положения теории копания грунта

Тип, модели и конструкции землеройных машин, в частности экскаваторов, определяется, в основном, взаимодействием рабочего органа с грунтом в процессе копания. Знание этих процессов позволяет правильно определить усилия, действующие на копающие элементы рабочего органа, назначать его размеры и вести проектирование экскаватора от рабочего оборудования к силовому оборудованию, что обеспечивает рациональное и полное использование машины при эксплуатации.

Основными факторами, влияющими на процесс копания грунта, являются:

1. Физико-механические свойства грунта;
2. Траектория движения ковша;
3. Форма, абсолютные размеры ковша, геометрия зубьев или режущей кромки ковша;
4. Размеры стружки, отделяемой от забоя;
5. Степень затупления зубьев или режущей кромки ковша.

Копание является сложным комплексным процессом, поскольку полная сила сопротивления грунта копанию P_0 , условно приведенная к зубьям ковша (рис. 2.1), определяется физически разнородными процессами, происходящими при отделении стружки от массива и заполнении ковша.

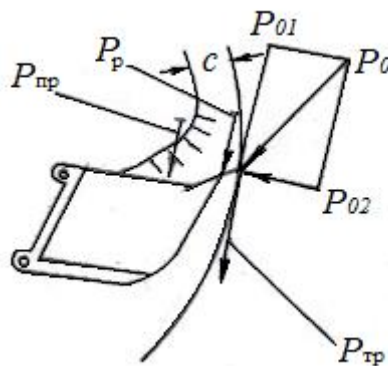


Рис. 2.1. Составляющие силы копания: P_0 – полная сила сопротивления копанию; P_{01} – касательная составляющая силы сопротивления при копании ковшом; P_{02} – нормальная составляющая сопротивления грунта копанию; P_p – резание грунта зубьями (режущей кромкой); $P_{тр}$ – сопротивление трения; $P_{пр}$ – сопротивление перемещению призмы волочения.

В случае копания ковшовым рабочим органом процесс отделения стружки и поступления ее в ковш состоит из следующих составляющих:

- резание грунта зубьями (режущей кромкой) – собственно отделение стружки грунта от массива, преодолевающее сопротивление грунта резанию – P_p ;
- трение режущих элементов ковша о грунт, преодолевающее силу сопротивления трения – $P_{тр}$;
- наполнение ковша и перемещение перед ним некоторого объема грунта (призмы), создают сопротивление перемещению призмы волочения – $P_{пр}$.

Полная сила сопротивления копанию P_0 в общем случае приложена к зубьям ковша и направлена под углом к траектории его движения.

В теории копания экскаваторами принято полную силу P_0 сопротивления грунта копанию раскладывают на две составляющие: касательную к траектории движения ковша составляющую P_{01} полной силы сопротивления копанию P_0 и нормальную к той же траектории составляющую P_{02} . Касательная составляющая P_{01} силы сопротивления при копании ковшем, в общем виде может быть представлена суммой:

$$P_{01} = P_p + P_t + P_n. \quad (2.1)$$

Профессор Н.Г. Домбровский доказал возможность упростить эту развернутую формулу, введя понятие коэффициента копания K_1 , значение которого зависит от рода и состояния грунта, конструкции и размеров рабочего органа и ряда других факторов. Относя обе части равенства (2.1.) к площади сечения стружки (bc) в конце копания, где P_{01} достигает наибольшего значения, получают предыдущее выражении в виде:

$$P_{01} / bc = (P_p + P_t + P_n) / bc. \quad (2.2)$$

В этом выражении правая часть равенства и определяет понятие коэффициента «удельное сопротивление грунта копанию» и равенство приобретает вид: $P_{01} / bc = K_1$, кПа, откуда получаем формулу касательной составляющей Н.Г. Домбровского:

$$P_{01} = K_1 bc, \text{ Н.} \quad (2.3)$$

Нормальную к той же траектории составляющую сопротивления грунта копанию P_{02} (отпор грунта) определяют по формуле:

$$P_{02} = \psi P_{01},$$

где ψ – коэффициент пропорциональности, или тангенс угла наклона полной силы сопротивления копанию к касательной. Коэффициент пропорциональности зависит от ряда факторов. Большое влияние на величину ψ оказывает затупление режущей кромки зубьев. Коэффициент пропорциональности рекомендуется принимать $\psi = 0,2 \dots 0,4$.

Схема сил, действующих на ковш драглайна в процессе копания на поверхности, наклонной к горизонту под углом α , показана на рис. 2.2.

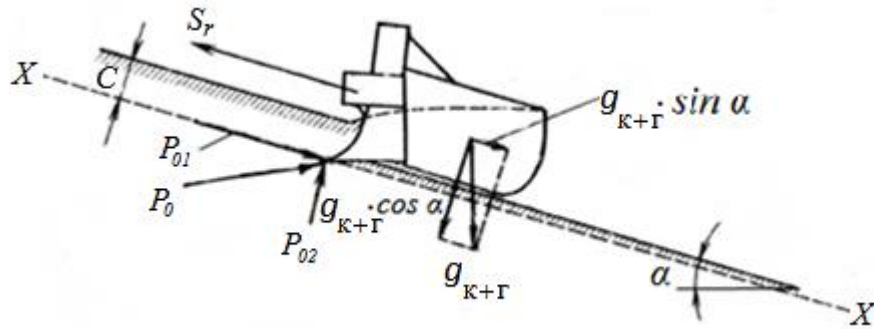


Рис. 2.2. Схема сил, действующих на ковш драглайна при копании

Ковш драглайна при копании перемещается под действием тягового усилия S_T . Заглубляется в грунт ковш под действием его массы и заключенного в нем грунта $G_{K+Г}$. По мере передвижения ковша по забою тяговое усилие возрастает вследствие наполнения ковша грунтом, увеличения объема призмы волочения, силы внутреннего трения частиц грунта и трения ковша о грунт. Рассматривая равновесие ковша на плоскости можно определить касательную P_{01} и нормальную P_{02} составляющие сопротивления грунта копанию. Из суммы проекций сил на ось $X-X$ ($\Sigma X = 0$):

$$S_T - P_{01} - G_{K+Г} \sin \alpha = 0,$$

откуда

$$P_{01} = S_T - G_{K+Г} \sin \alpha.$$

Из суммы проекций сил на ось $Y-Y$ ($\Sigma Y = 0$):

$$P_{02} - G_{K+Г} \cos \alpha = 0,$$

откуда

$$P_{02} = G_{K+Г} \cos \alpha. \quad (2.4)$$

В частном случае при горизонтальной траектории копания, когда $\alpha = 0^\circ$,

$$P_{01} = S_T; P_{02} = G_{K+Г}. \quad (2.5)$$

2.3. Экспериментальное определение параметров процесса копания

Практическое изучение фактического процесса копания проводится в виде лабораторной работы, при которой студенты должны измерить:

- Вместимость (объем) ковша – q , м³;
- Вес ковша – G_k , кН;
- Вес мерного ящика – G_y , кН
- Усилие тяги на трение ковша о грунт – P_t , кН;
- Усилие тяги на резание грунта – P_p , кН;
- Усилие тяги на копание грунта – P_{01} , кН;
- Толщину и ширину стружки в исследуемых сечениях забоя – c ; b , м;
- Объем грунта в ковше в конце копания – q_n , м³;
- Объем призмы сброса – q_c , м³;
- Вес грунта в ковше в конце копания – G_r , кН;
- Объем призмы волочения – q_v , м³;
- Суммарный объем вырытого грунта – q_r , м³;
- Объем по размерам выемки в плотном теле – q_t , м³;

Эти данные студент заносит в табл. 2.1 и по заданию на выполнение лабораторной работы расчетом определяет:

- Коэффициент удельного сопротивления грунта копанию – K_1 , кПа;
- Коэффициент удельного сопротивления грунта резанию – K_1' , кПа;
- Коэффициент трения ковша о грунт – μ ;
- Коэффициент разрыхления грунта – K_p ;
- Коэффициент наполнения ковша – K_n ;
- Относительный путь наполнения ковша $\Delta = L_n/L_k$;
- Относительный объем призмы волочения к объему грунта в ковше – ξ ;
- Удельная вес (удельная сила тяжести грунта) – g , кН/м³
- Категорию трудности разрабатываемого моделью ковша грунта I÷IV.

Расчеты заносит в табл. 2.2 и по ним анализирует результаты работы.

Работа выполняется на лабораторном стенде, показанном на рис. 2.3.

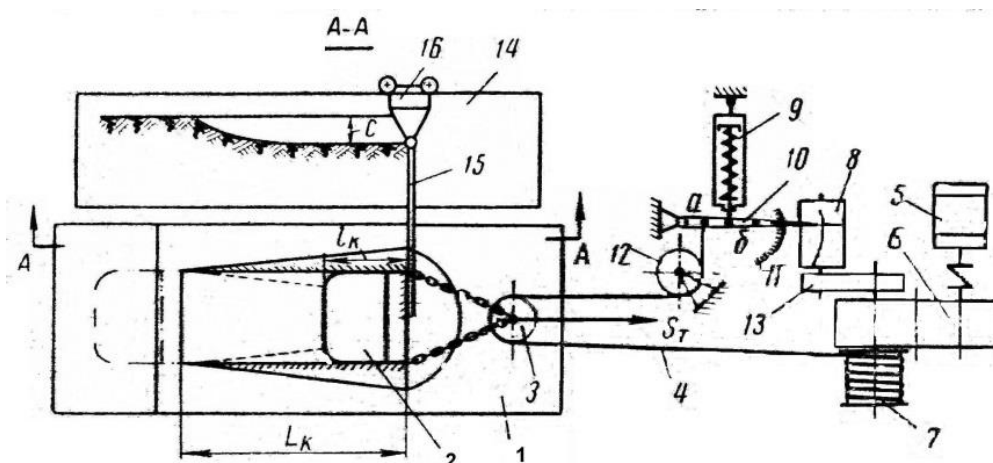


Рис. 2.3. Схема лабораторного стенда: 1 – грунтососный канал; 2 – ковши; 3 – блок ковша; 4 – тягач канат, создающий тяговое усилие S_T ; 5 – электродвигатель лебедки; 6 – редуктор; 7 – барабан тягача лебедки; 8 – барабан лебедки-динамографа; 9 – тарированная пружина; 10 – рычаг с карандашом на конце; 11 – масштабная дуга тягача лебедки, динамограф и профилограф; 12 – направляющий блок; 13 – понижающая передача; 14 – щит профилографа; 15 – ведущая стрелка профилографа; 16 – подвижная тележка профилографа.

С помощью профилографа производят запись продольного профиля пути при движении ковша. По этому профилю или непосредственно на выемке получают длину хода ковша, толщину и ширину стружки в различные периоды копания и объем выемки в плотном теле (рис. 2.4).

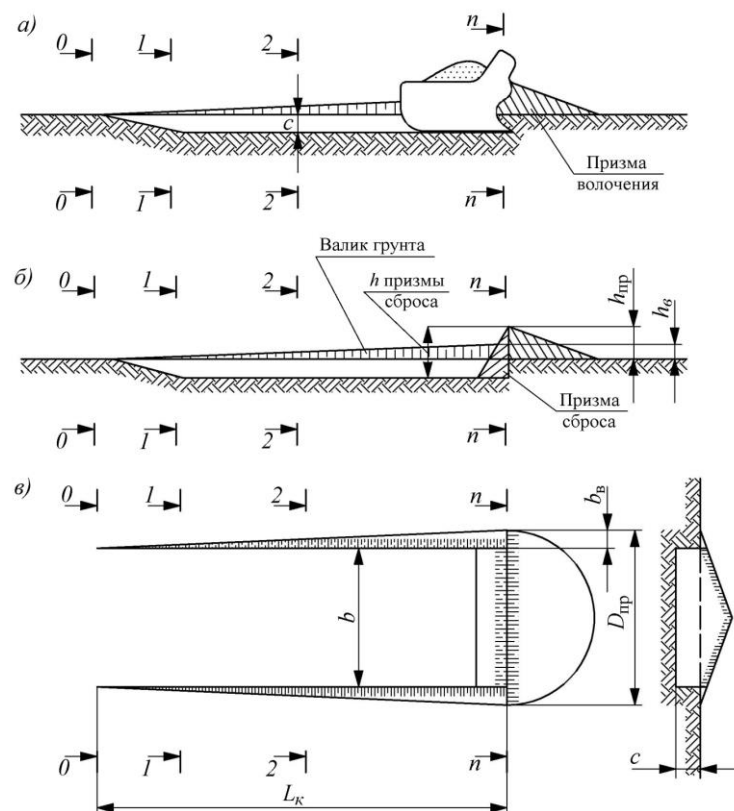


Рис. 2.4. Продольный профиль пути, размеры стружки и призмы волочения

Перед каждым опытом устанавливают масштаб усилия тяги по эталонной кривой, имеющейся на стенде. Первый масштаб соответствует полному тяговому усилию, когда конец каната закреплен на рычаге динамографа в точке «а». Во втором случае масштаб наносят для определения коэффициента трения ковша о грунт. Конец тягового каната закрепляют на рычаге динамографа в точке «б». После каждого опыта, производят замеры всех параметров процесса копания: размеров стружки, объема грунта в ковше, объемов призм волочения и сброса, веса грунта в ковше и заносят их в табл. 2.1.

Для измерения указанных параметров на лабораторном стенде должны быть следующие приспособления: мерный ящик (для определения объема грунта в ковше); мерная игла для определения толщины стружки; мерная линейка для определения параметров стружки, размеров призм волочения и сброса, габаритов выемки в плотном теле; вешки для отметки положений ковша в точках отсчета; весы для взвешивания грунта.

2.3.1. Определение удельного сопротивления грунта копанию – K_1

Для определения удельного сопротивления грунта копанию K_1 , кПа необходимо измерить в конце копания (при заполненном ковше) – точка n на рис. 2.4 – тяговое усилие $(S_T)_n$, Н и размеры поперечного сечения стружки: ширину b , м, равную внутренней ширине ковша, и толщину стружки c , м. Согласно формуле $P_{01}=K_1bc$, при горизонтальной траектории ковша касательная составляющая сопротивления грунта копанию P_{01} определяются численным значением тягового усилия на ковше в конце копания, т.е. $P_{01} = (S_T)_n$. Откуда определяется значение коэффициента удельного сопротивления грунта копанию:

$$K_1 = (S_T)_n / bc, \text{ кПа.} \quad (2.6)$$

По значению этого коэффициента устанавливается категория трудности разработки грунта.

2.3.2. Определение удельного сопротивления грунта резанию – K_1'

Удельное сопротивление грунта резанию определяют в начале копания, когда ковш еще не заполнен грунтом и отсутствуют призма волочения и валики по бокам ковша. В этот момент – точка 1 на рис. 2.4 – тяговое усилие S'_p уравнивается сопротивлением грунта резанию и трением μ ковша о грунт.

Для тягового усилия в сечение 1-1 будет справедливо равенство:

$$P'_{01} = S'_p = K_1'bc + N\mu, \text{ Н.} \quad (2.7)$$

Так как при перемещении ковша по горизонтали в начале копания реакция N определяется весом порожнего ковша, т.е. $N = G_k$, кН, то коэффициент сопротивления грунта резанию определяется из равенства:

$$K_1' = (S'_p - G_k\mu) / bc, \text{ кПа.} \quad (2.8)$$

Замеры величин S'_p и толщины стружки c необходимо производить после начала копания, когда зубья ковша переместятся на величину $L_x = (0,8 \div 1)L_k$. Относительный путь наполнения ковша $\Delta = L_n / L_k$, где: L_k – длина ковша, L_n – длина пути наполнения ковша.

2.3.3. Определение коэффициента трения ковша о грунт – μ

Коэффициент трения ковша о грунт определяют экспериментальным путем при протаскивании с усилием S''_T порожнего ковша по грунту – точка 0 на рис. 2.4 – задней стенкой вперед. Коэффициент трения μ определяют из формулы $S''_T = G_K \mu$, откуда:

$$\mu = S''_T / G_K. \quad (2.9)$$

2.3.4. Определение коэффициента наполнения ковша – K_n

Коэффициент наполнения ковша K_n в конце копания определяется безразмерной величиной соотношения фактического объема грунта в ковше – q_ϕ и вместимостью ковша – q :

$$K_n = q_\phi / q. \quad (2.10)$$

Фактический объем грунта в ковше q_ϕ определяется с помощью мерного ящика. В одной из стенок мерного ящика сделана прорезь, в которую вставлена пластина из прозрачного материала с нанесенной шкалой объема в м^3 . После окончания копания необходимо визуально определить геометрические границы объема призмы волочения q_v , образовавшейся перед ковшом, затем осторожно поднять ковш и оставшийся в нем грунт высыпать в мерный ящик. Туда же добавляется объем призмы сброса q_c , разравнивается грунт (не уплотняя) и, измерив суммарный объем, устанавливают значение q_ϕ . Грунт в мерном ящике взвешивают и, вычитая вес мерного ящика $G_{\text{я}}$, получают вес грунта в ковше G_T . Разделив вес грунта в ковше G_T на его объем q_ϕ получают значение удельного веса грунта g , кН/м^3 . Значения K_n и g сравнивают с данными в технической литературе.

2.3.5. Объем призмы волочения – q_v и ее относительный объем – ξ

После взвешивания в мерный ящик перемещают весь объем призмы волочения и устанавливают его значение q_v , м^3 . Разделив этот объем призмы волочения на объем грунта в ковше q_n , м^3 получают относительный объем призмы волочения к объему грунта в ковше ξ , %.

Полученное значение коэффициента ξ косвенно позволяет оценить величину тягового усилия, расходуемую на наполнение ковша и перемещение призмы волочения.

2.3.6. Определение коэффициента разрыхления грунта – K_p

К находящемуся в мерном ящике грунту, состоящему из объема грунта в ковше q_n , объема призмы сброса q_c и объема призмы волочения q_v , добавляют грунт боковых валиков и получают суммарный объем вырытого рыхлого грунта q_r . Разделив этот объем q_r на объем образованной выемки в плотном теле грунта q_t (позиция б на рис. 2.4.) студент получает значение коэффициента разрыхления грунта K_p .

2.4. Порядок выполнения работы

При рабочем эксперименте устанавливаются вешки по длине хода ковша и согласованно (одновременно) отмечается тяговое усилие. После наполнения ковша его осторожно поднимают и грунт из ковша пересыпают в мерный ящик. При подъеме ковша образуется призма сброса, которую так же надо переместить в мерный ящик. В него поэтапно добавляют призму волочения и боковые валики. Число студентов, одновременно участвующих в эксперименте, должно быть не менее семи человек. Распределение обязанностей между студентами:

Звено 1. (1чел., Бригадир) – Подает команду начала и конца опыта. Осуществляет управление механизмом тяги ковша. Следит за своевременным выполнением функций членов бригады. По окончании опыта сводит данные всех звеньев и оглашает их для членов бригады.

Звено 2. (2 чел.) – Осуществляют фиксацию текущих значений тягового усилия и записывают их. Помогают перемещать грунт в мерный ящик.

Звено 3. (2 чел.) – Устанавливают вешки по траектории движения ковша,

I	1	№ опыта
	2	№ сечения стружки
	3	Расстояние между сечениями стружки, м
	4	При копании P_{01}
	5	При резании P_p
	6	При трении P_r
	7	Толщина стружки s , м
	8	Ширина стружки b , м
	9	Площадь сеч. стружки, $F, \text{м}^2$
	10	Объем грунта в ковше $q_r, \text{м}^3$
	11	Объем призм сброса $q_c, \text{м}^3$
	12	Вес грунта в ковше, G_r , Н
	13	Объем призмы волочения $q_n, \text{м}^3$
	14	Суммарный объем вынутого из забоя грунта $q_v, \text{м}^3$
	15	Объем выемки в плотном теле грунта $q_r, \text{м}^3$

II	0													
	1													
	2													
	n													
III	0													
	1													
	2													
	n													

Таблица 2.2.

Основные параметры копания ковшом драглайна на стенде

№ опыта	Категория грунта	Относит. путь наполнения ковша, L_H/L_K	Удельное сопротивление грунта копанию K_1 , кПа	Удельное сопротивление грунта резанию K_1^1 , кПа	Коэффициент трения μ	Относительный объем призмы волочения $q_{пр}/q$, %	Коэффициент наполнения ковша K_H	Коэффициент разрыхления K_p	Удельный вес грунта, γ_1 , Н/м ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I									
II									
III									
Средние показатели									

К работе должны быть приложены схема сил, действующих на ковш при копании, схема лабораторного стенда, схема профиля выемки и сводные результаты расчета в виде заполненных таблиц 2.1 и 2.2, форма которых представлена выше. Работу следует представить в виде отчета и защитить у преподавателя.