Оганесов О.А., Рябикова И.М., Крахотин А.И.
*Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ)
Москва, Россия*

doi: 10.18411/lj2016-6-3-06

**Определение геометрических размеров на основании главного
технического параметра – массы машины и компьютерное формирование
экскаватора-погрузчика на этапе проектирования**

Oganesov O.A., Ryabikova I.M., Krahotin A.I.

**Determination of the geometric dimensions on the basis of the main technical
parameter is the mass of the car and
the computer the formation of a backhoe loader at the design stage**

Abstract. Design begins with a study of the technical characteristics and design of the existing samples. This information is often incomplete and it should be collected in different sources (magazines, exhibition presentations etc.) this article examines the work of backhoe loader in different operating conditions. In machine design it is important to determine the geometrical dimensions. They should be linked to technical parameters. As the main technical option considered weight and load capacity.

To form dependencies with the help of similarity theory. To optimize the design of the designed product can be in the analysis of these dependencies and use this data at the stage of technical proposal and preliminary design.

Keywords: Backhoe loader; weight; similarity theory; geometrical parameters, capacity, capacity.

Аннотация. Проектирование начинается с изучения технических характеристик и конструкции уже имеющихся образцов. Эта информация бывает неполной и ее приходится собирать в различных источниках (журналы, выставочные презентации и т.д.) В данной статье рассматривается работа экскаватора-погрузчик в различных условиях эксплуатации. При проектировании машины важно определить геометрические размеры. Они должны быть связаны с техническими параметрами. В качестве главного технического параметра рассматривается масса и грузоподъемность.

Формировать зависимости можно с помощью теории подобия. Оптимизировать конструкцию проектируемого изделия можно при анализе этих зависимостей и использовать эти данные на стадии технического предложения и эскизного проекта.

Ключевые слова. Экскаватор-погрузчик; масса; теория подобия; геометрические параметры, мощность, грузоподъемность

Размеры базовой части определяются в упрощенном виде на примере одноковшового экскаватора (рис.1), включая силовую установку, определяют из условия обеспечения рабочего процесса основного вида рабочего оборудования – обратной лопаты для гидравлических, прямой лопаты или драглайна для канатных экскаваторов. Параметры других сменных видов рабочего оборудования назначают исходя из возможностей реализации выбранных энергетических, геометрических и др. характеристик базовой части экскаватора.

Полученное оптимальное значение массы топт обобщается на подобные машины, которые описываются одними и теми же уравнениями и имеют одинаковые критерии подобия. От величины топт зависят линейные размеры экскаватора. Зависимости для определения линейных размеров приведены в табл.1.

Для гусеничных движителей основными размерами являются его база l_g (расстояние между осями ведущей звездочки и натяжного колеса), колея K и

ширина гусениц (длина башмаков) b_{Γ} . По условиям равной устойчивости экскаватора при расположении рабочего оборудования вдоль и поперек гусеничной тележки базу и колею желательно назначать одинаковыми. При прямолинейном передвижении длинно базовые гусеничные ходовые устройства менее подвержены продольным дифференциальным колебаниям, но при этом ухудшаются условия их разворота. Окончательно эти размеры уточняются по результатам тягового расчета и расчета на устойчивость. При проектировании гидравлических экскаваторов принимают $K/I_{\Gamma} = 0,76 \dots 0,82$.

База и ширина гусениц должны быть достаточными для того, чтобы среднее давление гусениц на грунт не превышало допустимого для расчетного грунта значения $[p_{\text{ср}}] = 0,025 \dots 0,11$, МПа.

$$p_{\text{ср}} = \frac{mg}{2l_{\Gamma}b_{\Gamma}} \leq [p_{\text{ср}}].$$

Размер $D_{\text{опу}}$ определяют из условия обеспечения передачи нагрузок от верхней поворотной части экскаватора на нижнюю раму и гусеничную тележку. На стадии эскизного проектирования его определяют как $D_{\text{опу}} = (0,45 \dots 0,47) \sqrt[3]{m}$, м.

Меньшие значения коэффициента пропорциональности соответствуют меньшим массам экскаватора.

Другие размеры гусеничных тележек назначают по подобию с наиболее прогрессивными моделями экскаваторов проектируемого типа.

Просвет под поворотной платформой $K_{\text{п}}$ зависит от принятой габаритной высоты гусениц $K_{\text{п}} = (1,25 \dots 1,3) H_{\Gamma}$. Размеры поворотной платформы уточняют конструктивной проработкой по условиям размещения на ней силового оборудования, насосов, аппаратов и других устройств, обеспечивающих функционирование систем экскаватора.

Габаритную ширину базовой части ограничивают габаритной шириной железнодорожного подвижного состава, равной 3,25 м. Эти ограничения касаются экскаваторов больших моделей, размеры которых в случае

несоответствия железнодорожным габаритам следует скорректировать. Транспортную ширину гусеничного экскаватора можно уменьшить путем снятия одной или двух гусеничных лент при его погрузке на железнодорожную платформу. Для экскаваторов малого типоразмера габаритные размеры определяются правилами дорожного движения при перебазировке машины своим ходом или с помощью автопоезда-тяжеловоза. Ширина машины не должна превышать 2,55 м. Высота автопоезда с установленным на прицепе-тяжеловозе экскаватором на дорогах общего пользования ограничивается 4 м.

Базовая часть пневмоколесных полноповоротных экскаваторов отличается от гусеничной ходовым устройством. Тип и размер шин назначают по средней нагрузке с учетом развесовки и применения односкатных или двухскатных мостов. Нагрузка на шину $G_{ш}$ определяется как $G_{ш} = mg/n$, H , где n – общее число шин.

Рис. 1. Схема основных размеров базовой части одноковшового экскаватора

Таблица 1

Формулы для определения линейных параметров экскаватора в зависимости от оптимальной массы машины $m_{опт}$.

Наименование	Расчетная формула	Величина размерного коэффициента	Размерность коэффициента
Радиус копания на уровне стоянки $R_{кc}$	$R_{кc} = k_{Rkc} \cdot m^{1/3}$	$k_{Rkc} = 0,3$	$м/кг^{1/3}$
Радиус поворотной части $r_{xв}$	$r_{xв} = k_R \cdot m^{1/3}$	$k_R = 0,1$	$м/кг^{1/3}$
Глубина копания H_k	$H_k = k_{Hk} \cdot m^{1/3}$	$k_{Hk} = 0,17 \dots 0,2$	$м/кг^{1/3}$
Высота выгрузки $H_г$	$H_г = k_{Hг} \cdot m^{1/3}$	$k_{Hг} = 0,17 \dots 0,2$	$м/кг^{1/3}$
Высота H	$H = k_H \cdot m^{1/3}$	$k_H = 0,1$	$м/кг^{1/3}$
Клиренс	$H_1 = k_{H1} \cdot m^{1/3}$	$k_{H1} = 0,02$	$м/кг^{1/3}$
Просвет под поворотной частью $K_{п}$	$K_{п} = k_{H2} \cdot m^{1/3}$	$k_{H2} = 0,03$	$м/кг^{1/3}$
Длина экскаватора L	$L = k_L \cdot m^{1/3}$	$k_L = 0,3 \dots 0,35$	$м/кг^{1/3}$
База l_r	$l_r = k_{L2} \cdot m^{1/3}$	$k_{L2} = 0,1$	$м/кг^{1/3}$
Ширина поворотной платформы $B_{пл}$	$B_{пл} = k_{Bпл} \cdot m^{1/3}$	$k_{Bпл} = 0,1$	$м/кг^{1/3}$

Ширина гусеничного хода B_x	$B_x = k_B \cdot m^{1/3}$	$k_B = 0,1$	м/кг ^{1/3}
Колея K	$K = k_{Bk} \cdot m^{1/3}$	$K_{Bk} = 0,1$	м/кг ^{1/3}
Ширина гусеницы b_r	$b_r = k_{Bz} \cdot m^{1/3}$	$K_{Bz} = 0,02$	м/кг ^{1/3}
Ширина ковша экскаватора $b_{ки}$	$b_{ки} = k_{Bки} \cdot m^{1/3}$	$k_{Bки} = 0,033$	м/кг ^{1/3}

Учитывая, что транспортные скорости пневмоколесных экскаваторов не превышают 22...25 км/ч, допускаемую нагрузку на шины принимают на 10–20% больше нагрузки, чем на транспортных машинах. Эти нагрузки уточняют последующим проверочным расчетом по данным фактического распределения масс составных частей экскаватора для транспортного режима и внешним нагрузкам при экскавации грунта с учетом работы выносных опор. При этом допускается 60–90 %-ная перегрузка шин против допускаемой расчетной нагрузки для транспортного режима. Если экскаватор оборудован выносными опорами (ауттригерами) и бульдозерным отвалом, который в режиме экскавации используется как дополнительная опора, необходимость в проверочном расчете отпадает.

Нередко передние колеса экскаваторов выполняют одинарными, а задние сдвоенными с соответствующим смещением оси вращения поворотной платформы от середины к задним колесам на 1/8 базового расстояния. Базу таких экскаваторов определяют как

$$lk = (1,38...1,13) \sqrt[3]{m}, \text{ м.}, \text{ а колею } K = (0,85...0,73) lk, \text{ м.}$$

Коэффициенты пропорциональности (см. табл.1) соответствуют массам экскаваторов $m = 10...15$ т. Просвет под поворотной платформой у этих экскаваторов составляет в среднем $K_p = 1,04 D_0$ (D_0 – наружный диаметр колеса, м). Остальные размеры базовой части определяют так же, как и для гусеничных экскаваторов.

В системе рабочего оборудования экскаваторов можно выделить три основных элемента – стрелу, рукоять и ковш, соединенные между собой по схеме обратная или прямая лопата. Заданными размерами элементов рабочего оборудования, их взаимными перемещениями, ограниченными наложенными на них связями, и координатами пяты стрелы на поворотной платформе однозначно

определяется область возможных положений режущих кромок зубьев ковшей, по которому может быть определена рабочая зона экскаватора – максимальные глубина или высота копания, высота и радиус выгрузки грунта.

Форму и размеры ковшей определяют в зависимости от их вместимости и особенностей применения. Координаты пяты стрелы чаще всего задают, иногда корректируют их в процессе расчетов с целью удовлетворения частным требованиям. По результатам этих расчетов строят осевой профиль рабочей зоны экскаватора, контур которого состоит из дуг и окружностей, описанных из центров вращения отдельных элементов, рис.3.

Рис. 3. Изменение а – вместимости ковша $q_э$ и б – линейных размеров одноковшовых экскаваторов с рабочим органом обратная лопата в зависимости от массы машины $m_{опт}$, иллюстрирующие подобие объектов: 1 – $q_э = k_{15} \cdot m_{опт}$; 2 – $R_{кс}$, $H_в = k_l \cdot m_{опт}^{1/3}$; 3 – $H_к$, $H_в = k_l \cdot m_{опт}^{1/3}$; 4 – A , $B = k_l \cdot m_{опт}$

В системе рабочего оборудования экскаваторов можно выделить три основных элемента – стрелу, рукоять и ковш, соединенные между собой по схеме обратная или прямая лопата. Заданными размерами элементов рабочего оборудования, их взаимными перемещениями, ограниченными наложенными на них связями, и координатами пяты стрелы на поворотной платформе однозначно определяется область возможных положений режущих кромок зубьев ковшей,

по которому может быть определена рабочая зона экскаватора – максимальные глубина или высота копания, высота и радиус выгрузки грунта.

Компьютерное формирование экскаватора – погрузчика на этапе проектирования.

Оптимальные значения главных технико-эксплуатационных параметров землеройной машины в зависимости от условий эксплуатации определяются методом минимизации продолжительности рабочего цикла машины на основании анализа четвертой координаты (времени) рабочего процесса. Обобщение оптимального решения на подобные объекты и условия эксплуатации позволяют установить рациональные геометрические размеры проектируемой машины. Расчет геометрических размеров объекта важный этап формирования компьютерной программы проектирования особенно на этапе эскизного проекта. Для экскаваторов важно установить наибольшую кинематическую глубину копания H_k , радиус копания на уровне стоянки $R_{кс}$, наибольшую высоту выгрузки H_v и др. Схема экскаватора с оборудованием обратная лопата с обозначением основных линейных размеров машины приведена на рис. 1

Искомые линейные размеры устанавливаются на основании связей подобия оптимального главного параметра – для экскаваторов это масса машины $m_{опт}$, с линейными параметрами. Графики, иллюстрирующие связи подобия основных линейных параметров экскаватора обратная лопата с эксплуатационной массой машины, приведены на рис. 3. Величины $m_{опт}$ устанавливается методом минимизации продолжительности рабочего цикла, рассмотренного ранее. Связь линейных размеров с главным техническим параметром устанавливается на основании зависимостей подобия. Формулы для определения линейных размеров экскаватора обратная лопата в табл. 1.

Машины с параметрами, рассчитанными методом минимизации продолжительности рабочего цикла и с линейными размерами, полученными по

формулам будут иметь оптимальные параметры и наибольший технико-эксплуатационный эффект в условиях, для которых эти параметры определены.

Зависимости являются основанием для формирования программы компьютерного проектирования чертежа общего вида машины на этапе создания эскизного проекта 4.

Оптимальные технико-эксплуатационные и линейные параметры и чертеж общего вида являются обоснованной исходной базой для составления технического проекта.

Рис. 4. Алгоритм получения чертежа общего вида землеройной машины по заданному главному техническому параметру

Заключение

На этапе формирования технического задания, установленные геометрических параметров в зависимости от главного технического параметра, например массы или грузоподъемности, являются исходной базой для разработки, в дальнейшем, технического проекта.

Эффективность машины с механическим воздействием на среду и цикличным рабочим процессом по основным показателям эффективности имеет оптимальную величину при определенной величине массы и энергонасыщенности агрегата.

Оптимальная масса топтявляется функцией технико-эксплуатационных параметров машины. Геометрические параметры машины определяются массой. Последняя определяется видом выполняемых технологических операций, видом сил сопротивлений и характером их приложения, а также вероятностью появления сопротивлений и действующими технико-эксплуатационными факторами.

Разработанная методика обеспечивает компьютерное создание геометрического образа машины на основании заданного главного технического параметра, например массы, машины на этапе технического задания.

Список используемых источников информации

1. Рябикова И.М., Зленко А.А. ,Определении параметров машин с учетом вероятностных условий эксплуатации. // ст. 212-220, в кн.Многоцелевые дорожно-строительные и технологические машины – О-М.: Омский Дом печати, 2006.
2. Герасимов М.Д. , Рябикова И.М. Компьютерное формирование общего вида погрузчика на этапе технического задания: учеб.пособие. Б–М.: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2011. –183 с.: ил.
3. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1994. –432 с.: ил.
4. Кудрявцев Е.М. Комплексная механизация, автоматизация и механовооруженность строительства: учебник для вузов. –М.: Стройиздат, 1989. –330с.
5. Недорезов И.А., Савельев А.Г. Машины строительного производства: учеб. пособие. –М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. –120 с.: ил.
6. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. –М.: Наука, 1972. – 375 с.
7. Шестопалов К.К. Строительные и дорожные машины. –М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 384 с.