

СТРУКТУРА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ БУЛЬДОЗЕРА

Введение. Системы автоматизированного проектирования (САПР) нашли самое широкое применение в промышленности. В последние годы САПР применяются практически на всех предприятиях машиностроительного профиля, в том числе и в автотракторостроении. Предприятия Республики Беларусь выпускают несколько типовых размеров колесных и гусеничных машин с бульдозерным оборудованием. Проектирование этих машин в зависимости от оснащённости предприятия средствами автоматизированного проектирования осуществляется с использованием CAD, CAE и CAM технологий. На ведущих предприятиях эти технологии освоены в достаточной степени, однако теоретические методы, используемые в CAE системах, далеко не всегда позволяют проводить требуемые расчеты.

Проектирование бульдозерного оборудования в настоящее время осуществляется на основании теоретических зависимостей, разработанных еще в начале прошлого века [1]. Такой подход позволяет определить средние усилия воздействия разрабатываемой среды на отвал, учесть влияние высоты призмы волочения, однако не позволяет получить классическую пилообразную картину усилия сопротивления копанью, получаемую при проведении экспериментальных исследований. Применение распространенных методов, основанных на использовании конечных элементов, не дает положительных результатов, из-за отсутствия элементов адекватно описывающих процессы, происходящие в грунте. В данном случае хорошие результаты может дать использование специализированного программного обеспечения, по моделированию процесса копания грунта бульдозерным рабочим оборудованием. Решением данной задачи является выявление амплитудно-частотной характеристики усилий сопротивления копанью. Использование полученных результатов позволит в последующем выполнять работы по проектированию отвалов бульдозерного типа с использованием современных теорий надежности и долговечности.

Структура рабочего оборудования бульдозера. Структура данной системы нам представляется следующей: тяговая рама, гидроцилиндры подъема опускания отвала, отвал, разрабатываемая среда. Рассматриваем плоскую модель. Используя современные подходы к созданию программного обеспечения, необходимо предусмотреть разработку и использование библиотечных элементов, созданных с учетом анализа структуры исследуемого объекта. Кроме того, с целью создания удобств для пользователя в виде возможности создания комплектов рабочего оборудования, состоящих из рамы, гидроцилиндра подъема-опускания отвала и непосредственно отвала будем использовать структурные библиотечные элементы. В окончательном наборе данных используем в качестве библиотечного элемента рабочее оборудование – разрабатываемая среда. Такая структура удобна для использования еще и в связи с тем, что в дальнейшем возможно объединение ее с моделью машины в целом.

Наиболее сложным из всех элементов является отвал. Параметры отвала бульдозера (рис. 1) определены в [1], являются классическими, их использование дает хорошие результаты. Поэтому определим исходные данные для отвала:

ε - угол опрокидывания отвала, $X_{кр}$ – расстояние от кромки ножа до точки крепления отвала на тяговой раме по оси абсцисс, $Y_{кр}$ – расстояние от кромки ножа до точки крепления отвала на тяговой раме по оси ординат, γ - угол резания, α – длина ножа, H – высота отвала без учета козырька, ε_{pi} - угол разворота отвала, R - радиус кривизны отвала, F – центр кривизны отвала, β - угол установки

kozyрька отвала, H_k – высота козырька отвала, β_k - угол опрокидывания козырька отвала.

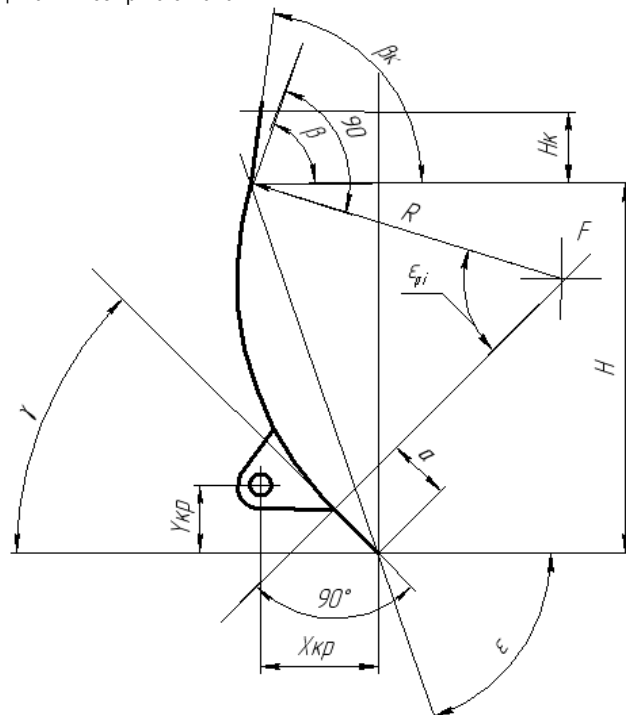


Рис. 1. Схема профиля отвала

По методике [1] радиус R определяется по математической зависимости. Наши исследования показали, что использование данной зависимости не позволяет создавать модели отвала для работы по легкой сыпучей среде, например, снегу с высокой степенью кривизны отвальной части, поэтому предусмотрим возможность задания данной величины пользователем. Учитывая, что отвал крепится к тяговой раме, величины $X_{кр}$ и $Y_{кр}$ являются определяющими для задания размеров выноса режущей кромки по осям абсцисс и координат от тяговой рамы.

Для гидроцилиндра подъема-опускания отвала в соответствии с курсом «Гидравлика, гидромашин и гидропривод» определим параметры, изображенные на рис. 2.

D_n - диаметр поршневой полости, D_w - диаметр штоковой полости, L_{min} – минимальный ход гидроцилиндра, L_{max} – максимальный ход гидроцилиндра. Эти данные могут использоваться в соответствии с техническими условиями на изготовление гидроцилиндров.

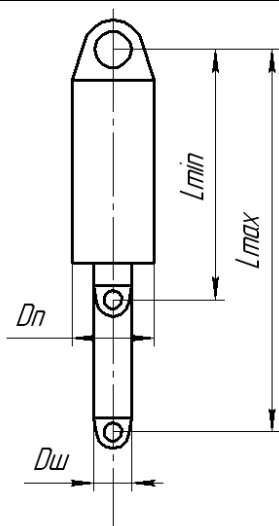


Рис. 2. Схема гидроцилиндра

Тяговая рама определяется в виде несущей конструкции, на которой закреплен отвал, гидроцилиндр, а сама рама закреплена на раме трактора в левом шарнире (рис. 3). В правом шарнире закрепляется отвал, длина рамы от точки крепления отвала до точки крепления на раме трактора задается размером l_r . Величинами $X_{гц}$ и $Y_{гц}$ задается расположение точки крепления гидроцилиндра.

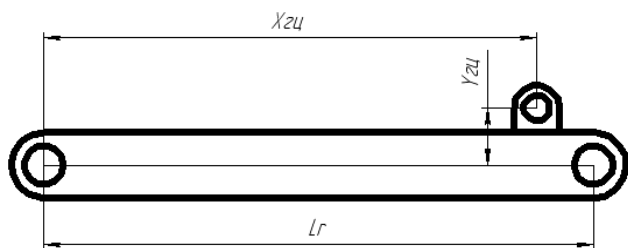
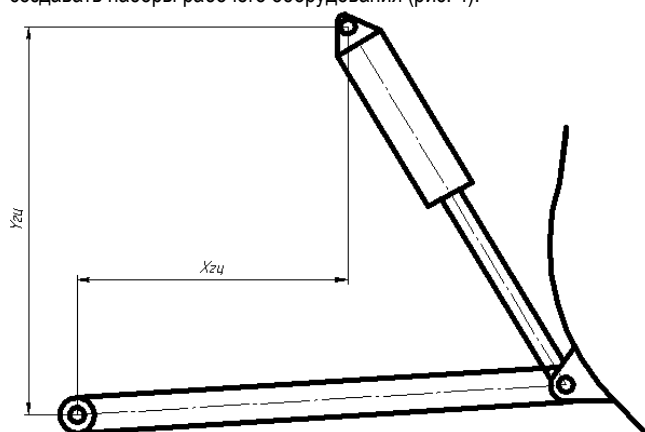


Рис. 3. Схема рамы бульдозерного оборудования

Таким образом, используя данные параметры, пользователь может сформировать наборы элементов отвалов, гидроцилиндров и рам, чтобы в последствии оперативно из возможных комбинаций создавать наборы рабочего оборудования (рис. 4).



здесь $X_{гц}$, $Y_{гц}$ – координаты точки крепления гидроцилиндра к раме бульдозера

Рис. 4. Схема рабочего оборудования бульдозера

Данная структура наиболее легко реализуется с помощью современных сред, предназначенных для разработки программных приложений с помощью объектно-ориентированного программирования. Хранение данных о каждой из структур обеспечивается в

двоичных либо текстовых файлах. При создании рабочего оборудования в целом пользователю достаточно выбрать в интерактивном режиме имя необходимого элемента и визуально проконтролировать начальную работоспособность полученной конструкции. В дальнейшем, после задания видов рабочего оборудования необходимо будет определить координату закрепления на раме бульдозера тяговой рамы отвала, эта точка является единственной связью рабочего оборудования и трактора, что обеспечивает удобство проведения расчетов. Величина заглубления отвала в грунт будет определяться ходом гидроцилиндра, что в свою очередь задает угол наклона рамы. Следует отметить, что в данном случае при подъеме – опускании отвала вместе с углом наклона рамы изменяется угол опрокидывания отвала, что учитывается в данной методике при расчете реального положения отвала в процессе работы путем добавления к углу опрокидывания отвала угла наклона тяговой рамы бульдозера со своим знаком. Предлагаемый метод позволяет пользователю осуществлять управление величиной заглубления или выглубления отвала путем задания величины наклона тяговой рамы. В этом случае, существует дополнительная возможность автоматически контролировать ход штока гидроцилиндра, с целью определения кинематических характеристик рабочего оборудования. Пользователю данного метода так же представляется возможность при проведении исследований выявлять особенности и степень влияния параметров рабочего оборудования на характеристики копания.

Структура данных о грунтах. Наиболее сложным библиотечным элементом в предлагаемой структуре является грунт, т.к. он располагается не только в естественном залегании, но и при копании в призме волочения. В связи с тем, что при проведении расчетов предлагается использовать не только физические зависимости, но и данные, полученные экспериментальным путем, от пользователя требуется ввод следующих исходных данных: имя грунта, угол внутреннего трения грунта, угол трения грунта по металлу, угол наклона призмы волочения к горизонту, удельное сцепление грунта ненарушенной структуры, удельное сцепление грунта нарушенной структуры (в призме волочения), коэффициент пропорциональности для остаточного сцепления на площадке сдвига, плотность грунта на рабочем органе и в призме волочения, начальное значение угла сдвига, первоначальный шаг изменения угла сдвига, точность определения угла сдвига, коэффициент объемной жесткости [2].

На основании экспериментальных данных можно определить следующие ориентировочные параметры для грунтов различных категорий [2], таблица 1.

Особенности предлагаемой методики. Особенностью предлагаемой имитационной модели является формирование из грунта, находящегося в естественном залегании призмы волочения. Предполагая, что расчет производится итерационным методом, допустим, что набор призмы волочения бульдозером осуществляется на каждом шаге. Объем добавляемой призмы волочения определяем как:

$$\Delta V = h \cdot \Delta l \cdot B,$$

где h - толщина стружки,

Δl - путь, пройденный на данном шаге,

B - ширина отвала.

Тогда в процессе расчета получаем постоянный рост призмы волочения. С течением времени призма формируется в структуру, представленную на рис. 5.

Отвал, представляющий собой дугу с центром в точке F и козырьком, является объектом, воздействующим на грунт и создающим призму волочения, которая ограничивается отрезками и кривыми ZDMOB.

Призма волочения рассматривается как неподвижный треугольник DOM с криволинейной частью DO и подвижный поток BODZ. Максимальная высота призмы ограничивается высотой отвала или пользователем. Поток движется вверх по отвалу под воздействием грунта, который отрывается от сплошного массива из-за возникающих давлений создаваемых ножом отвала. Для расчета угла наклона отрезка BO, называемого углом большого сдвига [2], который во

Таблица 1. Параметры грунтов различных категорий

Категория грунта	I-II	III	III-IV
угол внутреннего трения грунта (град)	26-32	24-28	20-25
угол трения грунта по металлу (град)	26-32	22-26	22-26
угол наклона призмы волочения к горизонту (град)	35-55	35-55	35-55
удельное сцепление грунта ненарушенной структуры (кПа)	0-2	0,1-5	3-8
удельное сцепление грунта нарушенной структуры (в призме волочения) (кПа)	4-20	30-70	500-120
коэффициент пропорциональности для остаточного сцепления на площадке сдвига	0,006-0,035	0,006-0,035	0,006-0,035
начальное значение угла сдвига (град)	20-30	20-30	20-30
первоначальный шаг изменения угла сдвига (град)	3-7	3-7	3-7
точность определения угла сдвига (град)	0,5-2	0,5-2	0,5-2
коэффициент объемной жесткости Н/м ³	1000-2000	1500-3000	2000-3500

многим определяет величины сил сопротивления копанию, необходимо определить величину давления призмы волочения на участки ВО и ОМ, т.к. это давление создает усилия, удерживающие части грунта от отрыва от основного массива. Учитываем, что неподвижная призма создает давление на участке ОМ, а подвижный поток создает давление на участке ОВ. Для определения величин этих давлений, поток разбивается на сегменты с центром в точке F и максимальным радиусом R. Ширина потока определяется толщиной стружки и углом большого сдвига. Принимая допущение о том, что на скоростях до 1м/с скорость потока не оказывает влияния на силы сопротивления копанию, определим, что к каждому сегменту, выделяемому из потока, приложены: сила тяжести mg; сила от нормального давления предыдущего сегмента N₁; сила нормальной реакции последующего сегмента N₊₁; сила реакции от отвала R_{ом}; сила реакции от призмы волочения R_{пр}; сила, определяемая сцеплением грунта и отвала C_{ом}; сила, определяемая остаточным сцеплением грунта с грунтом C_{пр}.

Исходя из физического смысла данных сил видно, что их величины зависят от размеров сегментов. На начальном этапе примем шаг разбиения подвижного потока на сегменты, равный 1 градусу. Учитывая, что формирование подвижного потока происходит во время движения отвала, определяем количество участков при условии достижения высоты призмы волочения, большего значения, чем геометрическая координата верхней части последнего участка.

Заключение. Предлагаемый метод, основанный на формировании рабочего оборудования бульдозера с использованием готовых библиотечных элементов, созданных пользователем на основе современных представлений о структуре и типах элементов из которых состоит рабочее оборудование, позволяет оперативно осуществлять анализ кинематических свойств рабочего оборудования, усилий сопротивления копанию. Данная методика позволяет определить величину участка ВО, рис. 5 и, как следствие, силы сопротивления резанию в каждый момент времени, что позволяет построить кривую сил сопротивления копанию, выявить амплитудно-частотную характеристику сил воздействия на отвал на стадии проектирования машины. Полученная информация позволит провести уточненное проектирование рабочего оборудования бульдозера с учетом со-

временных теорий прочности и надежности, выбрать наиболее оптимальные параметры рабочего оборудования при известных категориях грунтов, на которых будет работать машина, либо определить наиболее оптимальное положение рабочего оборудования при использовании машины в различных грунтовых условиях.

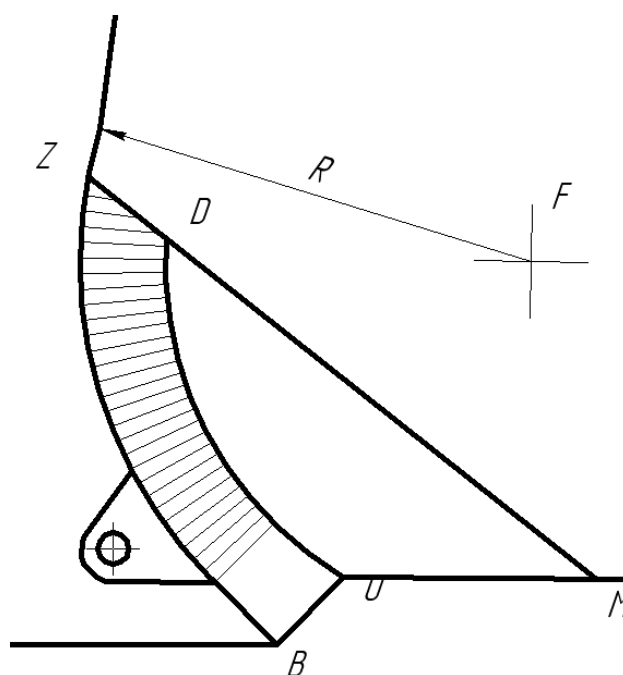


Рис. 5. Отвал с призмой волочения

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник конструктора дорожных машин Изд. 2-е, переработ. и доп./ И.П. Бородачев [и др.]. - М.: Машиностроение, 1973.- 504 с.
2. Берестов, Е.И. Научные основы моделирования системы «Грунт - рабочее оборудование землеройных машин» в режиме полойной разработки, дисс. докт. техн. наук. - Могилев, 1998, 404 с.

Материал поступил в редакцию 16.10.08

LESKOVEC I.V. LEONENKO O.V. STRUCTURE OF IMITATING MODEL OF THE WORKING EQUIPMENT OF THE BULLDOZER

The article is devoted to the creation of the simulation model of the operational equipment of the bulldozer and offers the structure of the given model in which the elements of the operational equipment: the blade, the hydrocylinder, the draft frame and soil are presented as library elements. The simulation model is intended for implementation on the computer as the software. Data on each element are offered to be kept in typified binary or not typified text files. The model as a whole is created by the user while carrying out the calculation. The basic difference of the suggested technique from existing ones is the opportunity of the determination of dynamic forces to digging resistance in the operation of the bulldozer. On the basis of the received calculation data it is possible to create the amplitude-frequency characteristics of the effort of the developed soil on the bulldozer blade. It will enable in designing operational equipment to apply modern calculation techniques on reliability and durability of the metal construction and the machine as a whole.