

УДК.631.312.68

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПЛАСТА С
САЖЕНЦЕМ ПО АКТИВНОМУ РАБОЧЕМУ ОРГАНУ
ВЫКОПОЧНОГО ПЛУГА

Караев А. И., чл. - кор. МААО, к.т.н., доц.

Матковский А.И., инж.

Таврический государственный агротехнологический университет

Аннотация. Разработана математическая модель изменения работы движущей силы затраченной на перемещение почвы с саженцем в зависимости от конструктивных и кинематических параметров рабочего органа выкопочного плуга, совершающего поступательное и колебательное движение.

Ключевые слова: движущая сила, колеблющийся рыхлитель, работа, саженец, выкопочный плуг.

Постановка проблемы. Выкапывание саженцев плодовых культур существующими выкопочными плугами должно сопровождаться достаточным разрушением почвы вокруг корневой системы саженцами и перемещением саженца на поверхность поля для последующей выборки. При этом, почва с корневой системой саженца перемещается по рабочему органу (рыхлителю), который совершает колебания. Такие условия перемещения способствуют более интенсивному разрушению внутрисочвенных связей вокруг корневой системы саженца. Перемещение отделенного почвенного пласта почвы с саженцем осуществляется за счет движущей силы, возникающей от подпора со стороны неразрушенной почвенного массива. Для определения движущей силы на перемещение почвенного пласта почвы с саженцем необходима разработка математической модели, позволяющей получить зависимости ее изменения от конструктивных и кинематических параметров рыхлителя.

Анализ последних исследований и публикаций. Перемещение почвы, при условии подпора со стороны неразрушенной почвенной среды, рассмотрено в работах [1, 2, 3] как составляющая тягового сопротивления. В работах [1, 2] рассмотрены условия перемещения почвы по поверхностям, параметры положения которых остаются постоянными, а в [3] переменными, что изменяет затраты энергии на перемещение в составе тягового сопротивления плуга. Однако, не установлено как изменяются затраты энергии на перемещение почвы при переменных параметрах рабочих органов. Затраты энергии на перемещение почвенного пласта с саженцем предлагается оценить через работу движущей силы на этом перемещении [4].

Цель исследования: установить зависимость изменения величины работы на

перемещение почвы с саженцем от конструктивных и кинематических параметров рыхлителя, совершающего поступательное и колебательное движение.

Основная часть. Процесс выкопки саженцев рабочим органом, установленным на выкопчном плуге ВПН - 2 представлен на рис. 1. Рабочий орган состоит из выкопчной скобы 1 и рыхлителя 6

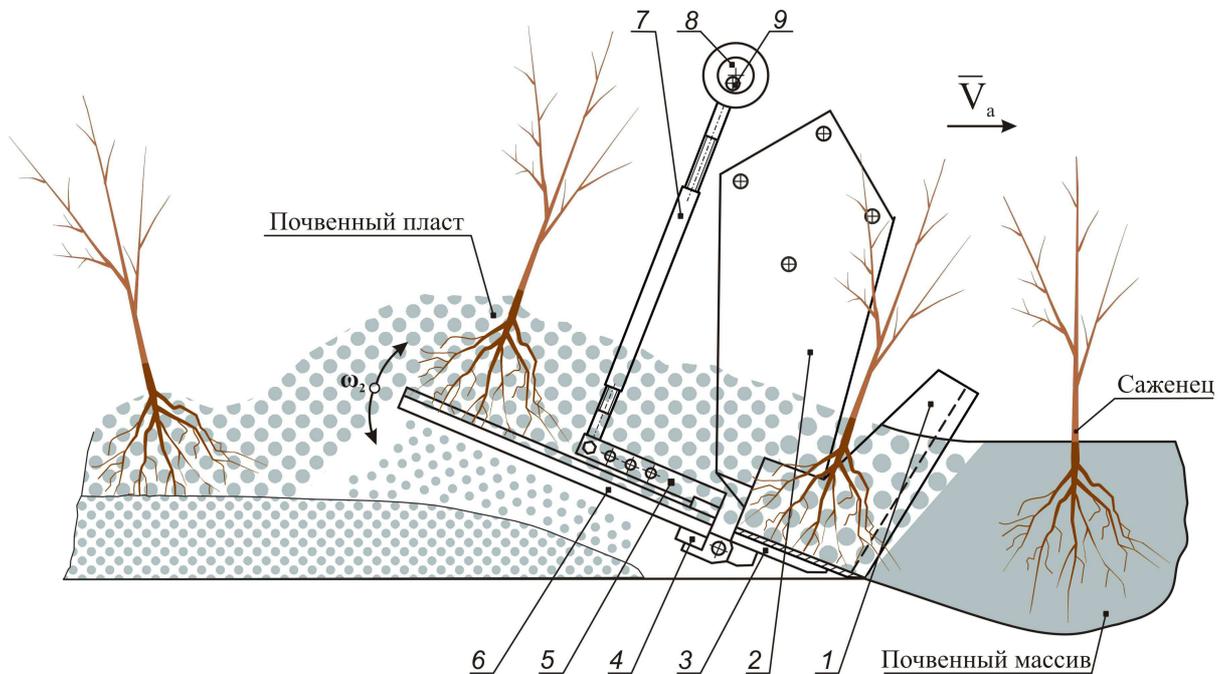


Рисунок 1 - Конструктивно - технологическая схема рабочего органу выкопчного плуга: 1 - выкопчная скоба; 2 - стовба; 3 - башмак; 4 - траверса; 5 - рычаг; 6 - рыхлитель; 7 - эксцентриковая тяга; 8 - эксцентриковый механизм; 9 - приводной вал.

Отделение почвенного пласта с корневой системой саженца осуществляется выкопчной скобой. Дальнейшее перемещение почвенного пласта с саженцем на поверхность поля осуществляется рыхлителем (рис. 1). Рыхлитель колеблется вокруг горизонтальной оси расположенной перпендикулярно направлению движения выкопчного плуга от воздействия на него через рычаг 5 эксцентриковой тяги 7, которая приводится через эксцентриковый механизм 8 приводным валом 9. Поверхность рыхлителя выполнена в виде плоских прямых прутков, образующих линейчатую поверхность параллельного переноса.

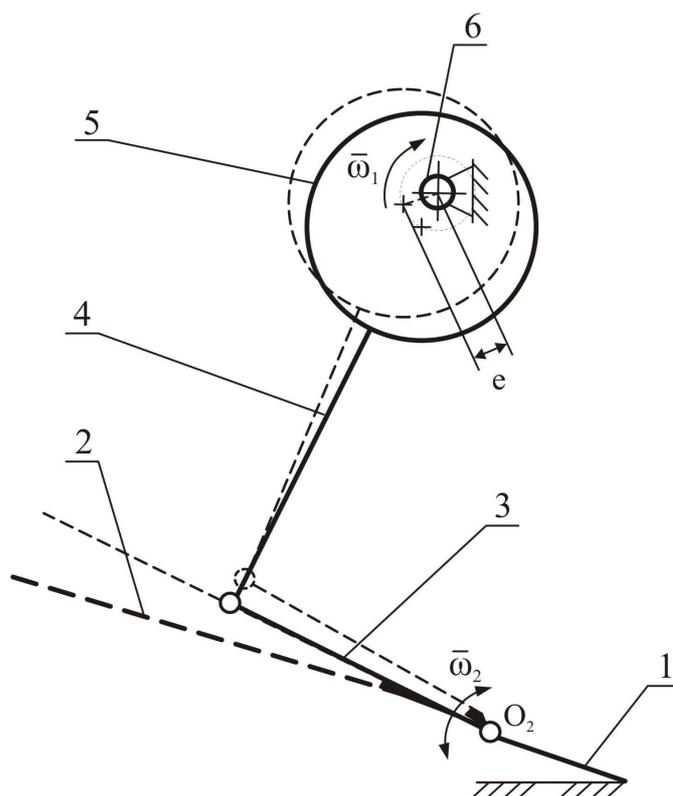


Рисунок 2 - Кинематическая схема привода рыхлителя плуга: 1 - выкопочная скоба; 2 - рыхлитель; 3 - рычаг 4 - эксцентриковая тяга; 5 - эксцентрик; 6 - приводной вал.

Рассмотрим движение почвенного пласта с корневой системой (рис. 2) после схода с выкопочной скобы. Перемещение почвенного пласта с корневой системой происходит со скольжением по поверхности рыхлителя при условии подпора со стороны почвенного массива. При этом сила сопротивления почвенного пласта сжатию будет достаточна для преодоления сил трения (в противном случае происходит сгруживание, отсутствие движения). В связи с этим деформацию сжатия почвенного пласта от силы трения не будем учитывать.

Для создания математической модели перемещения почвенного пласта с саженцами по рыхлителю сделаем такие допущения:

а) отделенный почвенный пласт с корневой системой рассматриваем как материальную точку;

б) реакция рыхлителя после схода с него почвы с рыхлителя не учитывается;

в) масса почвы по длине рыхлителю считаем неизменной;

г) движение почвенного пласта с саженцем происходит без отрыва от поверхности рыхлителя;

д) доля массы саженца в грунтовом пласте является не значительной и существенного влияния на процесс выкопки не оказывает.

сила тяжести

$$G = m \cdot g, \quad (7)$$

переносная касательная сила инерции

$$F_{ei}^{\tau} = m \cdot \frac{e \cdot \omega_l^2 \cdot \cos(\omega_l \cdot t) \cdot v_r \cdot t}{l}, \quad (8)$$

кориолисова сила инерции

$$F_{ci} = 2m \cdot \frac{e \cdot \omega_l \cdot \sin(\omega_l \cdot t) \cdot v_r}{l}, \quad (9)$$

переносная нормальная сила инерции

$$F_{ei}^n = m \left(\frac{e \cdot \omega_l \cdot \sin(\omega_l \cdot t)}{l} \right)^2 v_r \cdot t, \quad (10)$$

угол колебаний рыхлителя равен

$$\alpha_k = \frac{e(1 - \cos(\omega_l \cdot t))}{l}. \quad (11)$$

С учетом составляющих (7 - 11) движущая сила равна

$$\begin{aligned} T = & m \cdot g \cdot \sin\left(\alpha_p + \frac{e(1 - \cos(\omega_l \cdot t))}{l}\right) + \\ & + \left(m \cdot g \cdot \cos\left(\alpha_p + \frac{e(1 - \cos(\omega_l \cdot t))}{l}\right) + m \cdot \frac{e \cdot \omega_l^2 \cdot \cos(\omega_l \cdot t) \cdot v_r \cdot t}{l} + \right. \\ & \left. + 2m \cdot \frac{e \cdot \omega_l \cdot \sin(\omega_l \cdot t) \cdot v_r}{l} \right) \cdot f - m \left(\frac{e \cdot \omega_l \cdot \sin(\omega_l \cdot t)}{l} \right)^2 v_r \cdot t. \end{aligned} \quad (12)$$

где m - масса грунтового пласта на рыхлителе, кг;

g - ускорение свободного падения, м / с²;

α_p - угол установки рыхлителя к горизонтали, рад ;

α_k - угол колебаний рыхлителя, рад;

ω_l - угловая скорость эксцентрика, с⁻¹

e - величина эксцентриситета, м;

v_r - относительная скорость движения грунтового пласта по рыхлителю, м/с
(принимаем равной скорости агрегата, v_a);

f - коэффициент внешнего трения почвы по стали;

l - длина рычага, м.

Работа движущей силы зависит от времени, и может быть представлена функцией [4].

$$A_T = \int_0^t \bar{T} \cdot \bar{v}_a dt. \quad (13)$$

где v_a - абсолютная скорость относительного и переносного движения т. С по рыхлителю, м/с.

Абсолютная скорость т. С в векторном виде определяется формулой

$$\bar{v}_a = \bar{v}_e + \bar{v}_r. \quad (14)$$

а ее величина

$$v_a = \sqrt{v_e^2 + v_r^2}. \quad (15)$$

Для определения скорости v_e рассмотрим перемещение т. С, осуществляющей колебательное движение в системе координат XOY (рис. 3).

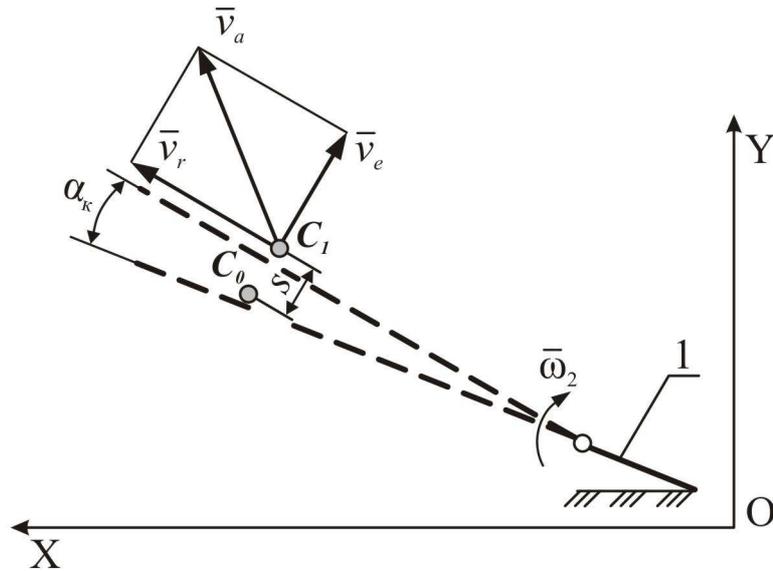


Рисунок 4-Схема к определению абсолютной скорости т. С .

Расстояние на которое переместится т. С из положения C_0 в положение C_1 будет определяться величиной эксцентриситета e и углом поворота эксцентрика $\omega_1 t$ и составит

$$s = e(1 - \cos(\omega_1 t)) \quad (16)$$

Переносная скорость т. С равна производной от расстояния s (16). Для произвольного момента времени перемещения по рыхлителю равна

$$v_e = \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 t) \cdot v_r \cdot t}{l} \quad (17)$$

Модуль абсолютной скорости v_a в окончательном виде равен

$$v_a = \sqrt{\left(\frac{e \cdot \sin(\omega_1 t) \cdot \omega_1 \cdot v_r \cdot t}{l}\right)^2 + v_r^2} \quad (18)$$

Подставим движущую силу и абсолютную скорость в формулу (13)

$$\begin{aligned} A_T = & \int_0^t \left(m \cdot g \cdot \sin\left(\alpha_p + \frac{e(1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l}\right) + \right. \\ & + \left(mg \cdot \cos\left(\alpha_p + \frac{e(1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l}\right) + m \cdot \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r \cdot t}{l} + \right. \\ & + \left. 2m \cdot \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l} \right) \cdot f - m \left(\frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)}{l} \right)^2 v_r \cdot t \times \\ & \times \left(\sqrt{\left(\frac{e \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot \omega_1 \cdot v_r \cdot t}{l}\right)^2 + v_r^2} \right) dt \end{aligned} \quad (19)$$

Работа движущей силы T на перемещение грунта по рыхлителю равна алгебраической сумме работ составляющих сил в уравнении (19) [4].

$$A_T = A_{G_x} + A_{G_y} + A_{F_{ei}^{\tau}} + A_{F_{ci}} - A_{F_{ei}^n} \quad (20)$$

Работы составляющих сил выразятся интегралами:

сила тяжести в проекции на ось x

$$A_{G_x} = m \cdot g \int_0^t \sin\left(\alpha_p + \frac{e(1 - \cos(\omega_1 t))}{l}\right) \cdot \sqrt{v_r^2 + \left(\frac{e \cdot \sin(\omega_1 t) \cdot \omega_1 \cdot v_r \cdot t}{l}\right)^2} dt, \quad (21)$$

сила тяжести в проекции на ось y

$$A_{G_y} = m \cdot g \cdot f \int_0^t \cos\left(\alpha_p + \frac{e(1 - \cos(\omega_1 t))}{l}\right) \cdot \sqrt{v_r^2 + \left(\frac{e \cdot \sin(\omega_1 t) \cdot \omega_1 \cdot v_r \cdot t}{l}\right)^2} dt, \quad (22)$$

переносная касательная сила инерции

$$A_{F_{ei}^{\tau}} = m \cdot f \int_0^t \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r \cdot t}{l} \cdot \sqrt{v_r^2 + \left(\frac{e \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot \omega_1 \cdot v_r \cdot t}{l}\right)^2} dt, \quad (23)$$

кориолисова сила инерции

$$A_{F_{ci}} = 2m \cdot f \int_0^t \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l} \cdot \sqrt{v_r^2 + \left(\frac{e \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot \omega_1 \cdot v_r \cdot t}{l}\right)^2} dt, \quad (24)$$

переносная нормальная сила инерции

$$A_{F_{ei}^n} = \int_0^t m \left(\frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)}{l}\right)^2 v_r \cdot t \cdot \sqrt{v_r^2 + \left(\frac{e \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot \omega_1 \cdot v_r \cdot t}{l}\right)^2} dt. \quad (25)$$

Уравнение работы (19) является математической моделью работы движущей силы, характеризует процесс перемещения почвенного пласта с саженцем и устанавливает зависимость ее изменения от конструктивных и кинематических параметров рыхлителя.

Время взаимодействия рыхлителя с почвенным пластом и саженцем определится из соотношения

$$t = \frac{L}{v_r}, \quad (26)$$

где L - длина рыхлителя, м.

Для исходных данных: $v_r = 1,45$ м/с; $e = 0,019$ м; $\alpha_p = 0,43$; рад; $\omega_1 = 40$ рад/с; $m = 100$ кг; $g = 9,81$ м/с²; $f = 0,5$; $l = 0,4$ м; $L = 1$ м, $t = 0,74$ с по формулам (20 - 25) произведены вычисления в программе Maple и получены значения работы движущей силы и составляющих ее сил на перемещение почвы с саженцем по рыхлителю (табл.).

Таблица - Результаты расчетов работы движущей силы (Дж) и доля составляющих сил по перемещению почвенного пласта с саженцем по рыхлителю (проц.)

A_{G_x}	A_{G_y}	$A_{F_{ei}^{\tau}}$	$A_{F_{ci}}$	$A_{F_{ei}^n}$	A_T
552	531	186	14	-132	1150
Доля работы составляющих сил					
39	38	13	1	9	100

Влияние конструктивных и кинематических параметров на величину работы движущей силы представлено зависимостями на рис. 5 - 7.

$A_T, Дж$

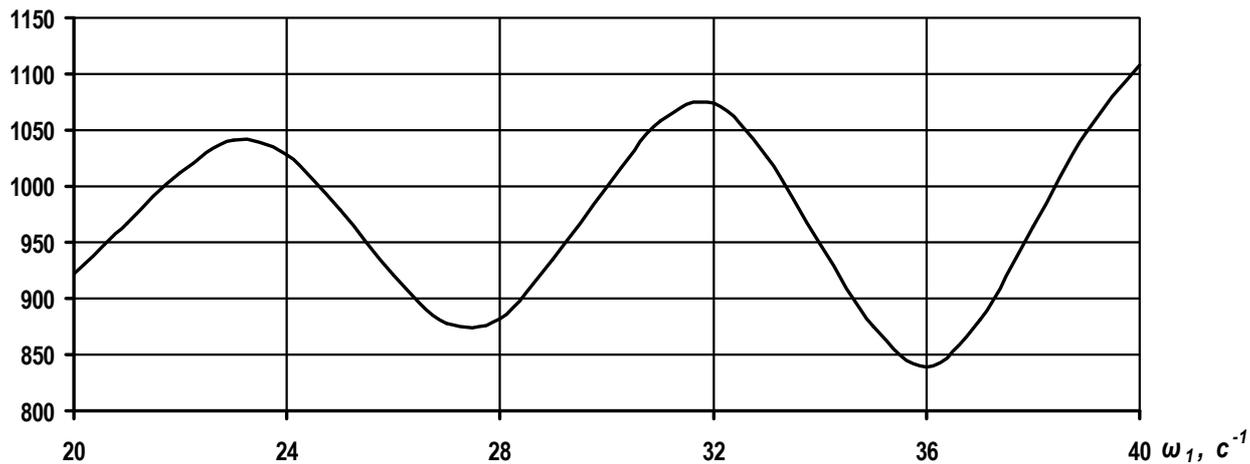


Рисунок 5 - Изменение работы движущей силы от угловой скорости ω_1 (кинематический параметр) за время перемещения почвы с саженцем по рыхлителю.

$A_T, Дж$

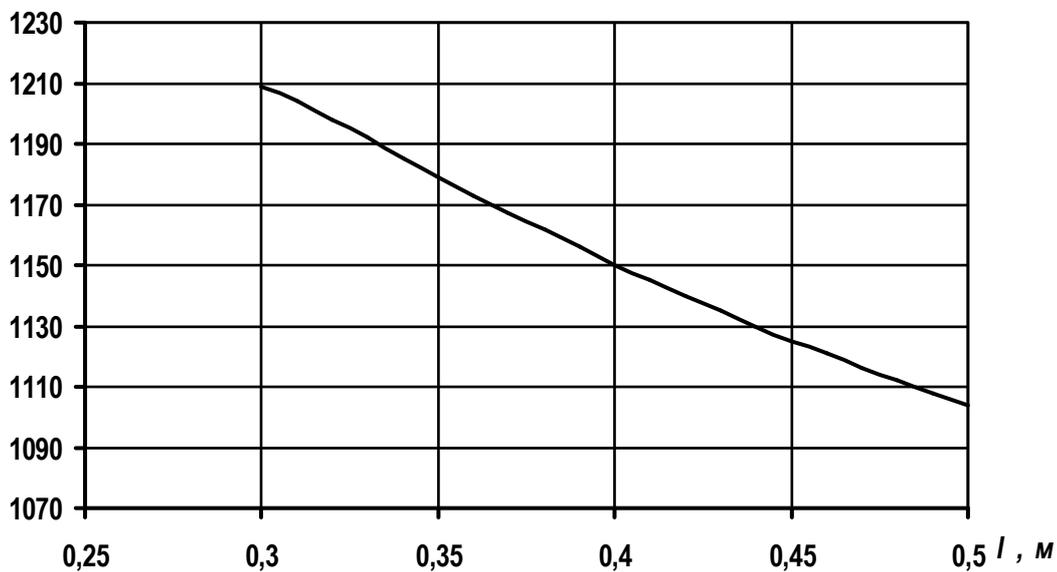


Рисунок 6 - Изменение работы движущей силы от длины рычага l (конструктивный параметр).

$A_T, Дж$

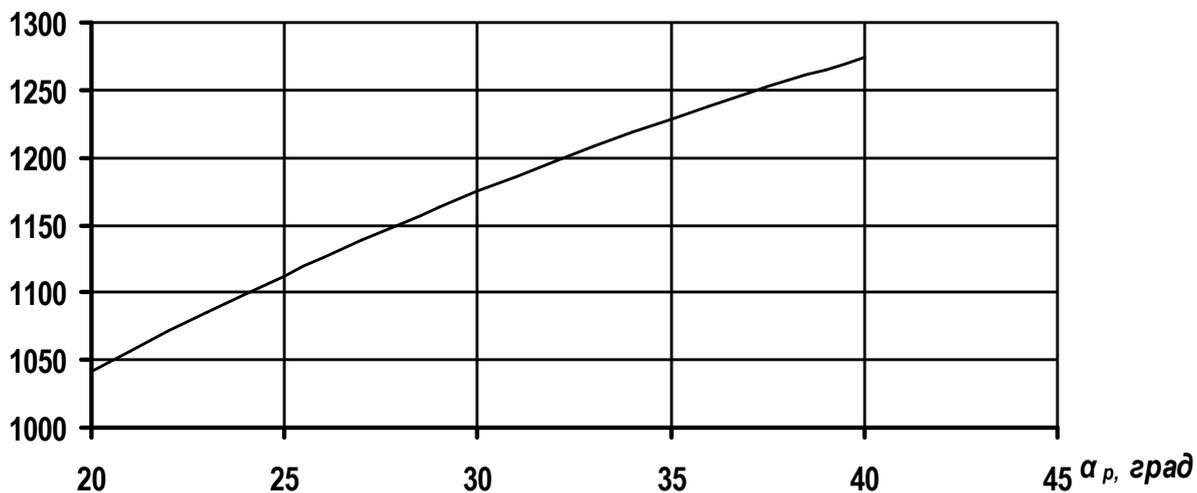


Рисунок 7 - Изменение работы движущей силы от угла установки рыхлителя α_p (параметр положения).

Выводы.

1 Математическая модель работы движущей силы на перемещение почвенного пласта с саженцем позволяет через полученные зависимости (рис.5 - 7) рассмотреть характер ее изменения от конструктивных параметров и выбрать уровни варьирования для планирования эксперимента с целью установления их оптимальных значений.

2. С повышением угловой скорости увеличивается работа движущей силы на перемещение (рис. 5) грунтового пласта по рыхлителю . Предельные значения угловой скорости должны устанавливаться с учетом режимов колебаний, которые желательно с подбрасыванием грунтового пласта для достаточного его разрушения.

2. Конструктивный параметр длину рычага следует выбирать с середины рассмотренного интервала в пределах от 350 до 450 мм. Увеличение длины рыхлителя уменьшает амплитуду его колебаний, что снижает разрушение почвенного пласта.

3. Увеличение параметра угла установки рыхлителя к горизонтали повышает работу движущей сил (рис 7). Положение рыхлителя должно обеспечивать транспортировку почвенного пласта с саженцем на поверхность поля без сгуживание, что возможно с углом установки до 30^0 и длиной рыхлителя до 0,8м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бледных В.С. Построение рабочей поверхности корпуса плуга на основе технологических требований/ В.С. Бледных, С.В. Олейников // Совершенствование методов использования сельскохозяйственной техники / Научн. труды ЧИМЭСХ. — Челябинск, 1984.— С. 82–85.
2. Бледных В.С. Тяговое сопротивление рабочих органов почвообрабатывающих машин / В.С. Бледных // Почвообрабатывающие машины и динамика агрегатов / Сбор. научн. трудов. ЧИМЭСХ.— Челябинск, 1990.— С. 10–16.
3. Кольцов М.П. Тяговое сопротивление колебательного рабочего органа выкопчного плуга / М.П. Кольцов, А.И. Матковский // Труды Таврического государственного агротехнологического университета. - Мелитополь: ТГАТУ, 2013. — Вып. 13 т. 3.— С.156-160.
4. Никитин Н.Н. Курс теоретической механики: Учеб. для машиностроит. и приборостроит. спец. вузов. — 5-е изд. перераб. и доп. — М.:Высш. шк., 1990.—607 с.