

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

Тел. 0619-42-21-32

Аннотация. Разработана математическая модель изменения работы движущей силы затраченной на перемещение почвы с саженцем в зависимости от конструктивных и кинематических параметров рабочего органа выкопчного плуга, совершающего поступательное и колебательное движение. Получены зависимости изменения работы движущей силы от угловой скорости эксцентрика, длины рычага и от угла установки рыхлителя. Это позволило определить уровни варьирования значений данных параметров для планирования эксперимента с целью установления их оптимальных значений.

Ключевые слова: движущая сила, колеблющийся рыхлитель, работа, саженцы, выкопчный плуг.

Постановка проблемы. Выкапывание саженцев плодовых культур существующими выкопчными 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 внутрпочвенных 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

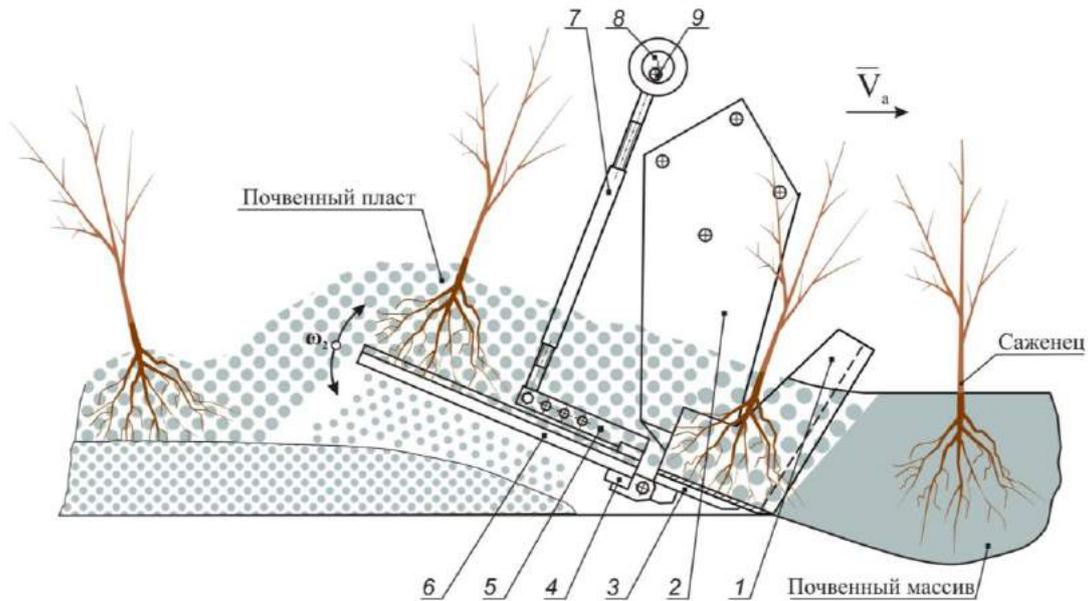


Рисунок 1 - Конструктивно - технологическая схема рабочего органу выкопчного плуга: 1 - выкопчная скоба; 2 - стовба; 3 - башмак; 4 - траверса; 5 - рычаг; 6 - рыхлитель; 7 - эксцентриковая тяга; 8 - эксцентриковый механизм; 9 - приводной вал.

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 движению 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.

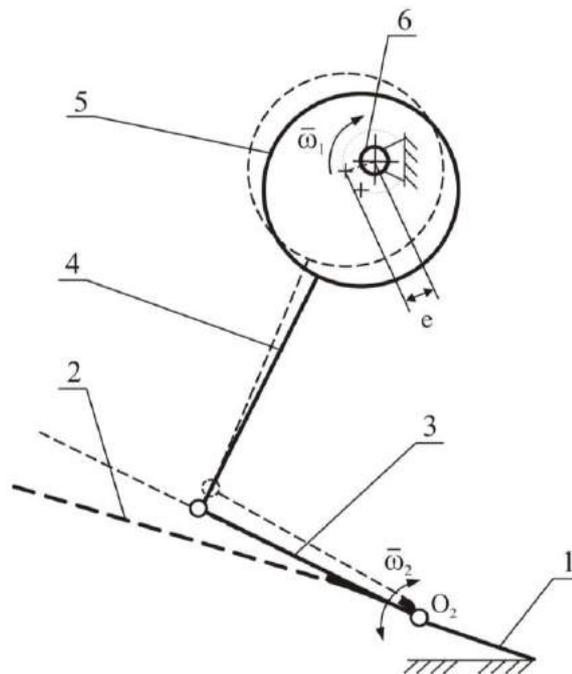


Рисунок 2 - Кинематическая схема привода рыхлителя плуга: 1 - выкопчная скоба; 2 - рыхлитель; 3 - рычаг 4 - эксцентриковая тяга; 5 - эксцентрик; 6 - приводной вал.

Рассмотрим движение почвенного пласта с корневой системой (рис. 2) после схода с выкопчной 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 сгуживание, 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 рыхлителя считаем неизменной;
- г) движение почвенного пласта с саженцем происходит без отрыва от поверхности рыхлителя;
- д) доля массы саженца в грунтовом пласте является незначительной и существенного влияния на процесс выкопки не оказывает.

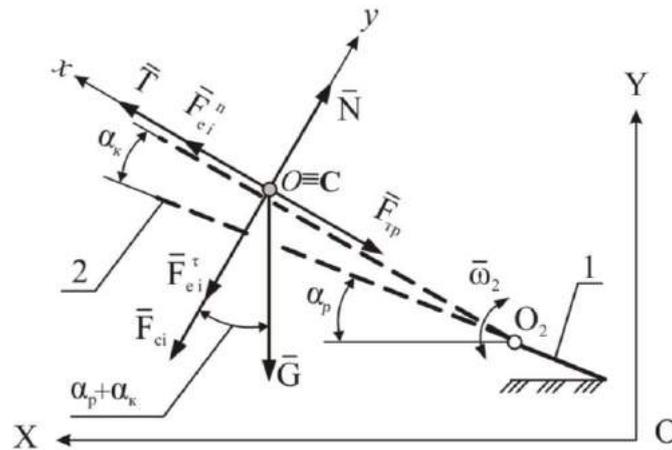


Рисунок 3 - Схема сил, действующих на почвенный пласт с саженцами (т. С) во время движения рыхлителя вверх: 1 - выкопчная скоба; 2 - рыхлитель.

Векторное уравнение движения материальной точки C относительно подвижной системы координат $x o y$, размещенной в неподвижной системе XOY составим в соответствии со схемой (рис. 3)

$$m \cdot \bar{a}_r^\tau = \bar{T} + \bar{G} + \bar{N} + \bar{F}_{mp} + \bar{F}_{ei}^n + \bar{F}_{ei}^\tau + \bar{F}_{ci}, \quad (1)$$

где \bar{T} - движущая сила; \bar{G} - сила тяжести; \bar{N} - нормальная реакция связи поверхности рыхлителя; \bar{F}_{mp} - сила трения; \bar{F}_{ei}^n - переносная нормальная сила инерции колебаний; \bar{F}_{ei}^τ - переносная касательная сила инерции колебаний; \bar{F}_{ci} - кориолисова сила инерции.

Материальная т. С в системе отсчета $x o y$ движется прямолинейно и равномерно. В этом случае относительная скорость постоянна по модулю и направлению, поэтому относительное ускорение $\bar{a}_r = \ddot{x} = 0$. Тогда уравнения (1) примет вид

$$\bar{T} + \bar{G} + \bar{N} + \bar{F}_{mp} + \bar{F}_{ei}^n + \bar{F}_{ei}^\tau + \bar{F}_{ci} = 0. \quad (2)$$

При движении рыхлителя вверх уравнение (2) будет следующее

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= \dot{O} + F_{ei}^n - G \cdot \sin(\alpha_p + \alpha_{\hat{e}}) - F_{\delta\delta} = 0 \\ m\ddot{y} &= N - G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_{\hat{e}}) - F_{ei}^\tau - F_{ci} = 0 \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

Найдем N из системы уравнений (3)

$$N = G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_{\hat{e}}) + F_{e^3}^\tau + F_{c^3}, \quad (4)$$

тогда F_{mp} равна

$$F_{\delta\delta} = N \cdot f = (G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_{\hat{e}}) + F_{ei}^\tau + F_{ci}) \cdot f. \quad (5)$$

Подставим значение силы трения F_{mp} в первое уравнение формулы (3) и решим его относительно T

$$T = G \cdot \sin(\alpha_p + \alpha_{\kappa}) + (G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_{\kappa}) + F_{ei}^\tau + F_{ci}) \cdot f - F_{ei}^n. \quad (6)$$

Составляющие уравнения (6) определяются по формулам:

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

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

С учетом составляющих (7 - 11) движущая сила равна

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

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 (принимая 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].

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

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

Абсолютная скорость т. С в векторном виде определяется формулой

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

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).

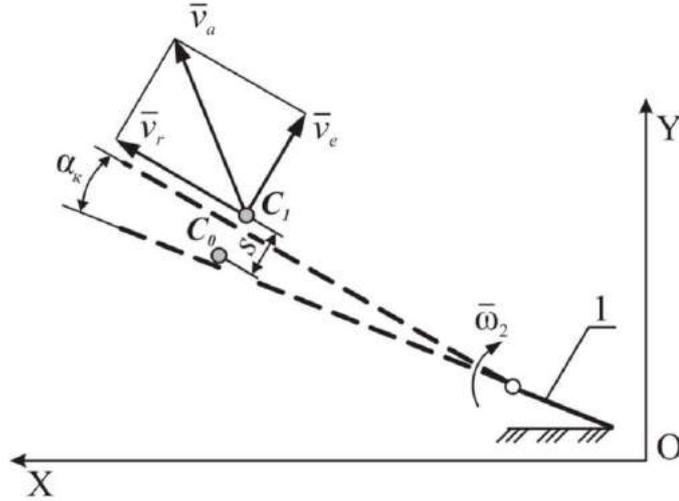


Рисунок 4 - Схема к определению абсолютной скорости т. С

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 рыхлителью равна

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

Модуль абсолютной скорости v_a в окончательном виде равен

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

Подставим движущую силу и абсолютную скорость в формулу (13)

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

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

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

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

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

кориолисова сила инерции

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

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; $\omega_l = 40$ 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.1).

Таблица 1 - Результаты расчетов работы движущей силы (Дж) и доля составляющих сил по перемещению почвенного пласта с саженцем по рыхлителю (проц.)

$A_{G_{\bar{\delta}}}$	A_{G_y}	$\dot{A}_{F_{ei}^c}$	$\dot{A}_{F_{ci}}$	$A_{F_{ei}^n}$	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.

$A_T, Дж$

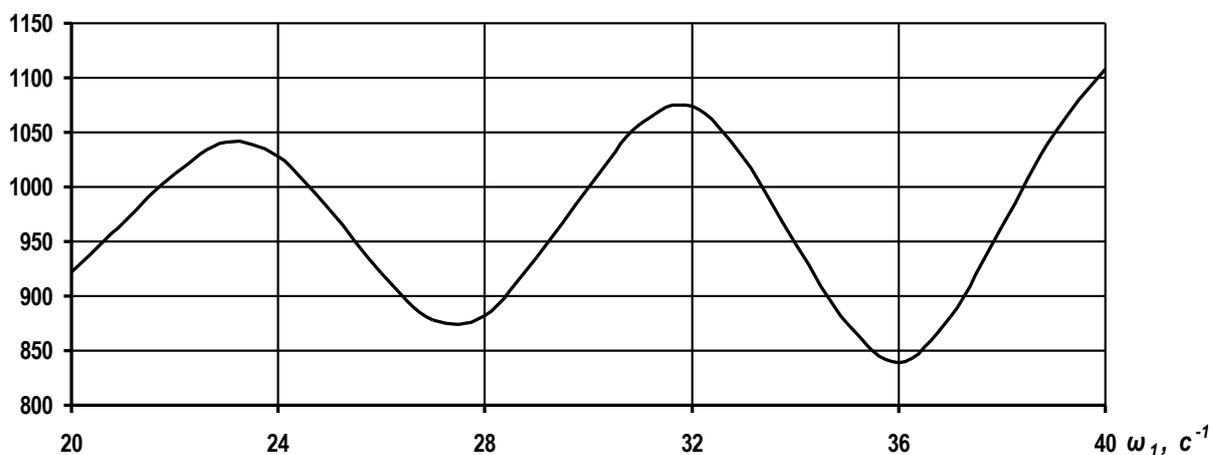


Рисунок 5 - Изменение работы движущей силы от угловой скорости ω_l (кинематический параметр) за время перемещения почвы с саженцем по рыхлителю

$A_T, Дж$

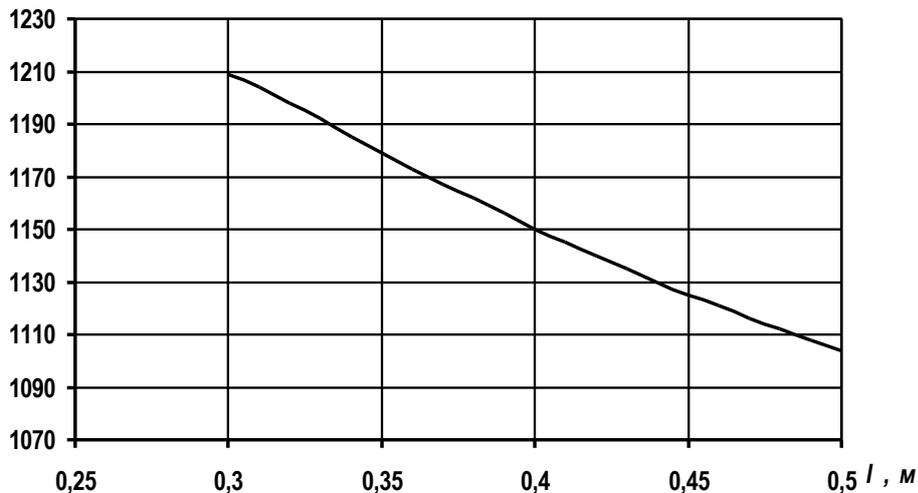


Рисунок 6 - Изменение работы движущей силы от длины рычага l (конструктивный параметр)

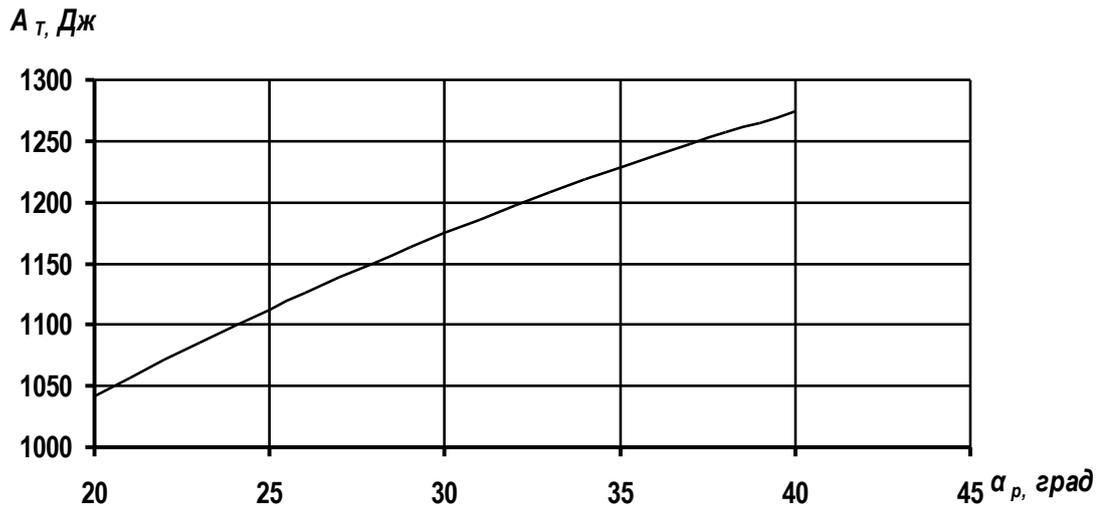


Рисунок 7 - Изменение работы движущей силы от угла установки рыхлителя α_p (параметр положения)

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. Длину рычага следует выбирать с середины рассмотренного интервала в пределах от 350 до 450 мм. Увеличение длины рыхлителя уменьшает амплитуду его колебаний, что снижает разрыхление почвенного пласта.

3. Увеличение 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° 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 выкопного 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.

BIBLIOGRAPHY

1. Blednyh V.S. Plough body working surface building on the basis of technological requirements / V.S. Blednyh, S.V. Oleinikov // *Sovershenstvovanye metodov ispol'zovaniia sel'skohoziastvennoi tekhniki* / Nauchn. trudy ChIMESH. — Cheliabinsk, 1984.— S. 82–85.
2. Blednyh V.S. Tillage machines working parts draft resistance / V.S. Blednyh // *Pochvoobrabatyvaiuschiie mashyny i dinamika agregatov* / Sbor. nauchn. trudov. ChIMESH.— Cheliabinsk, 1990.— S. 10–16.
3. Kol'tsov M.P. Excavating plough oscillating working part draft resistance / M.P. Kol'tsov, A.Y. Matkovskii // *Trudy Tavricheskoho gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta*. – Melitopol': TDATU, 2013. — Vyp. 13 t. 3.— S.156-160.
4. Nikitin N.N. Theoretical mechanics course: Ucheb. dlia mashinostroit. i priborostroit. spec. vuzov. — 5-e izd. pererab. i dop. — M.:Vysch. shk., 1990.—607 s.

**MODELLING OF SOIL LAYER WITH TRANSPLANT MOVEMENT
ALONG THE OPERATING ELEMENT OF EXCAVATING PLOUGH**

Karaiev A.I., Matkovsky A.I.

Summary

The mathematical model for changing driving force having been spent for moving the soil with transplant subject to constructive and kinematic parameters of the excavating plough operating element, performing sliding and oscillating movement has been worked out. The dependences in changing the driving force operation against eccentric angular speed, lever length and ripper angle setting have been obtained. It enabled to define these parameters value variation levels for experiment planning in order to determine their optimal values.

Key words: driving force, oscillating ripper, operation, excavating plough.

УДК 631.3.002.5

**ИЗМЕНЕНИЯ АГРЕГАТНОГО СОСТАВА ПОЧВЫ В ПРИСТВОЛЬНЫХ
ПОЛОСАХ САДА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ**

Дидур В.А., акад. МААО, д.т.н., проф.

Тел. 0619 – 44-02-74

Караев А.И., чл.-кор. МААО, к.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

г. Мелитополь, Украина

Тел.0619-42-13-83

Минько С.А., асп.

Таврический государственный агротехнологический университет

Аннотация. В статье приведены результаты лабораторного опыта по изучению динамики процесса изменений структурно-агрегатного состояния чернозема южного под воздействием воды от десяти поливов. Начальное, агрегатно-структурное состояние почвы было представлено коэффициентом структурности в пяти вариантах: 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0. Влажность почвы каждым поливом доводилась до 70% (НВ), наименьшая влагоемкость, высушивалась и определялся коэффициент структурности.