

Կայքէջ՝ [anau.am/hy/tegheskagir](http://anau.am/hy/tegheskagir)

УДК: 631.343.004

## ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ФРЕЗЫ С ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ НА МОМЕНТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ ПОЧВЫ

А.С. Григорян к.т.н., А.В. Алтунян к.т.н.

Национальный аграрный университет Армении

[Algrig1968@mail.ru](mailto:Algrig1968@mail.ru), [artur.altunyan@mail.ru](mailto:artur.altunyan@mail.ru)

### СВЕДЕНИЯ

**Ключевые слова:**

вертикальная фреза,  
диаметр,  
момент сопротивления,  
длина пути резания,  
скорость резания

### АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрено воздействие диаметра фрезы с вертикальной осью вращения на энергоёмкость технологического процесса. Изучение разработанных нами аналитических формул подтверждает подход Г.Ф. Попова, по которому зависимость крутящего момента фрезы от ее диаметра изменяется по закономерности кривой второго порядка.

Мы полагаем, что при постоянной подаче фрезы рост крутящего момента при увеличении диаметра объясняется абсолютной скоростью ножа, силой разрезания земли, а также увеличением длины траектории резания. Если кинематический параметр ротационной машины остаётся неизменным, то к вышеуказанным причинам добавляется увеличение толщины разрезаемого земляного слоя.

### Введение

Многочисленными исследованиями установлено, что почвообрабатывающие фрезы, благодаря своим конструктивным и технологическим свойствам, наиболее полно соответствуют агротехнологическим требованиям по качеству крошения почвы и уничтожению сорной растительности. Однако их внедрению, в основном, препятствует фактор больших, чем у машин с пассивными рабочими органами, энергозатрат при технологическом процессе обработки почвы.

Существующие исследования воздействующих факторов и закономерностей изменения энергозатрат, порой противоречащих друг другу, в основном, проводились относительно к фрезам с горизонтальной осью вращения.

В статье рассмотрено теоретическое влияние диа-

метра фрезы с вертикальной осью вращения на закономерность изменения энергетических затрат осуществляемого технологического процесса.

### Материалы и методы

Энергетические затраты при ротационной обработке почвы, в основном, зависят от следующих кинематических и геометрических параметров технологического процесса: поступательной  $V_n$  и окружной скоростей  $V_o$  и их соотношения -  $\lambda = V_n / V_o$ , глубины резания  $a$ , подачи  $S$  или толщины отрезаемой стружки  $\delta$ , количества ножей  $Z$ , угла резания  $\beta$  и т.д.

В научной литературе имеются обширные сведения, хотя порой противоречивые, относительно влияния вышеуказанных факторов на энергетические затраты

технологического процесса обработки почвы. В основном, эти исследования проводились относительно фрез с горизонтальной осью вращения, у которых, несмотря на сходство технологического процесса с фрезами с вертикальной осью вращения, все же имеются некоторые принципиальные отличия. В частности, у последних отсутствует холостой ход ножа, так как они на всем протяжении технологического процесса находятся в почвенной массе, имеет место отбрасывание почвы, подталкивающий эффект и т.д..

Прежде чем рассмотреть влияние диаметра почвенной фрезы на момент сопротивления резанию почвы, отметим, что на этот счет в научной среде имеются противоположные мнения. В частности, Г.Ф. Попов, по результатам опытов, проводившихся в почвенном канале, полагает, что изменение мощности и крутящего момента от диаметра барабана происходит по кривой, близкой к гиперболе [2]. А по данным С.С. Яцуна, мощность на фрезерование и крутящий момент растут с увеличением радиуса фрезерного барабана по прямолинейной зависимости [2].

Процесс отрезания стружки ротационным ножом можно рассматривать как отделение пласта с переменной толщиной. Тогда по аналогии с лемешными плугами силу резания можно определить выражением [2]:

$$P_p = k_p \delta a, \quad (1)$$

где  $k_p$  – коэффициент удельного сопротивления резанию почвы,  $\delta$  – толщина стружки,  $a$  – глубина обработки.

По результатам обработки данных экспериментальных исследований по резанию почвы, А.Д. Далин предложил следующую эмпирическую формулу для определения коэффициента удельного сопротивления резанию почвы при фрезеровании с учетом скорости (Далин, Павлов, 1950):

$$k_p = k_{1.5} = k_v V_{II} \left( \sqrt{\lambda^2 + 2\lambda \sin \omega t + 1} \right), \quad (2)$$

где  $k_{1.5}$  – удельное сопротивление  $((4,8 \div 5,5) \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2)$  при абсолютной скорости резания  $1-1,5 \text{ м/с}$ ,  $k_v$  – коэффициент влияния абсолютной скорости на сопротивление резанию  $((1 \div 1,7) \cdot 10^4 \text{ Н·с/м}^3)$ ,  $V_a$  – абсолютная скорость движения ножа,  $\text{м/с}$ ,  $\lambda$  – кинематический параметр ротационной машины,  $V_I$  – поступательная скорость,  $\text{м/с}$ .

Толщина стружки определяется следующим выражением (Синекоков, Панов, 1977):

$$\delta = S \sin \left( -\arctg \frac{\lambda \sin \omega t}{1 + \lambda \cos \omega t} \right), \quad (3)$$

где  $S$  – подача на нож,  $\text{см}$ .

Таким образом, для силы резания получим:

$$P_p = k_p a S \sin \left( -\arctg \frac{\lambda \sin \omega t}{1 + \lambda \cos \omega t} \right). \quad (4)$$

С другой стороны, сила резания при одном обороте ножа (Petrosyan, Grigoryan, Ezekyan, 2015):

$$P_p = \frac{A_p}{\ell} = \frac{2\pi M_{кр}}{\ell}, \quad (5)$$

где  $A_p$  – работа, расходуемая на фрезерование почвы при одном обороте барабана,  $\text{Н·м}$ ,  $\ell$  – длина пути резания,  $\text{см}$  (Ezekyan, 2015):

$$\ell = R \alpha_2 \left( \frac{1 + \lambda^2 + \alpha_2 \lambda}{\lambda \sqrt{1 + \lambda^2}} \right), \quad (6)$$

где  $R$  – радиус вращения лезвия ножа,  $\text{см}$ ,  $\alpha_2$  – угол поворота ножа, соответствующий траектории резания (Ezekyan, 2015):

$$\alpha_2 = \pi + \frac{S \lambda^2}{R(\lambda^2 - 1)}. \quad (7)$$

Ввиду малой величины второго слагаемого в уравнении (7), примем  $\alpha_2 = \pi$ . Приравнявая уравнения (4) и (5), и подставляя соответствующие значения из формул (2) и (6), для определения момента сопротивления на резание почвы при полуобороте ножа, соответствующем активной фазе резания, получим следующее выражение:

$$M_{c.p} = a \frac{2\pi R^2}{\lambda Z} \cdot \left( k_{1.5} + k_v V \sqrt{\lambda^2 + 2\lambda \sin \omega t + 1} \right) \cdot \left( \frac{1 + \lambda^2 + \pi \lambda}{\lambda \sqrt{1 + \lambda^2}} \right) \cdot \sin \left( -\arctg \frac{\lambda \sin \omega t}{1 + \lambda \cos \omega t} \right). \quad (8)$$

Подача на нож определяется выражением [2]:

$$S = \frac{2\pi R}{\lambda Z}$$

где  $\lambda = V_{II} / V_O$  – кинематический параметр ротационной машины,  $Z$  – число ножей.

Тогда уравнение (8) можно записать в следующем виде:

$$M_{c.p} = a \frac{2\pi R^2}{\lambda Z} \cdot \left( k_{1.5} + k_v V \sqrt{\lambda^2 + 2\lambda \sin \omega t + 1} \right) \cdot \left( \frac{1 + \lambda^2 + \pi \lambda}{\lambda \sqrt{1 + \lambda^2}} \right) \cdot \sin \left( -\arctg \frac{\lambda \sin \omega t}{1 + \lambda \cos \omega t} \right). \quad (9)$$

Влияние диаметра фрезы на закономерность изменения момента сопротивления на резание почвы рассмотрим при постоянных значениях подачи -  $S = 5 \text{ см}$ , глубины

обработки -  $a=10$  см, поступательной скорости -  $V_f = 0,5$  м/с, числа ножей -  $Z = 3$ .

Постоянство подачи достигается благодаря изменению радиуса фрезы и соответствующего ему кинематического параметра (таблица):

Таблица\*

| Радиус фрезы,<br>$R$ , см | Кинематический<br>параметр, $\lambda$ | Окружная скорость,<br>$V_f$ , м/с |
|---------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| 15                        | 6                                     | 3                                 |
| 20                        | 8                                     | 4                                 |
| 25                        | 10                                    | 5                                 |
| 30                        | 12                                    | 6                                 |
| 35                        | 14                                    | 7                                 |
| 40                        | 16                                    | 8                                 |
| 45                        | 18                                    | 9                                 |

\*Таблица составлена авторами.

Подставляя значения  $S = 5$  см,  $a = 10$  см,  $k_{1,5} \approx 5,1 \cdot 10^4$  Н/м<sup>2</sup> и  $k_v \approx 1,5 \cdot 10^4$  Н·с/м<sup>2</sup> в уравнение (9), для момента сопротивления на резание получим:

$$M_{кр} = \frac{R^2}{\lambda} \cdot \left( 1064 + 314 \sqrt{\lambda^2 + 2\lambda \sin \omega t + 1} \right) \cdot \left( \frac{1 + \lambda^2 + \pi \lambda}{\lambda \sqrt{1 + \lambda^2}} \right) \cdot \sin \left( -\arctg \frac{\lambda \sin \omega t}{1 + \lambda \cos \omega t} \right). \quad (10)$$

## Результаты и анализ

С целью выявления влияния диаметра фрезы с вертикальной осью вращения на закономерность изменения момента сопротивления резанию почвы, при постоянной подаче, воспользуемся формулой (10). На рис. 1 показан график зависимости  $M_{кр} = f(R)$  при  $S = 5$  см = const. Постоянство подачи достигается путем изменения кинематического параметра ротационной машины.

Из графика можно сделать вывод, что при постоянной величине подачи на нож крутящий момент на приводе фрезы возрастает по кривой второго порядка при увеличении диаметра фрезы. При этом увеличение радиуса фрезы в 3 раза – с  $R=0.15$  м до  $R=0.45$  м приводит к увеличению крутящего момента почти в 5 раз.

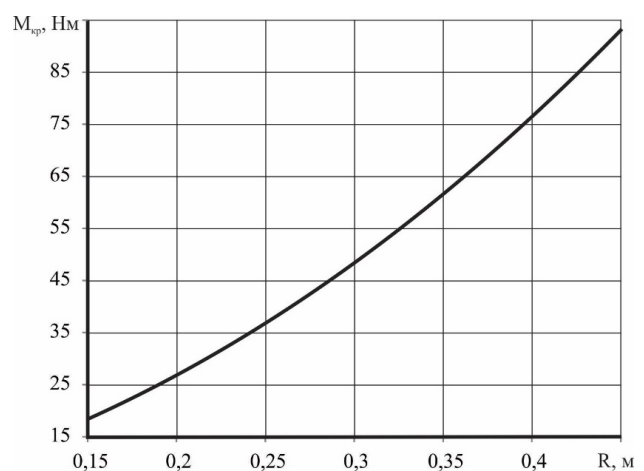


Рис. 1. Зависимость  $M_{кр} = f(R)$  при  $S = 5$  см = const.

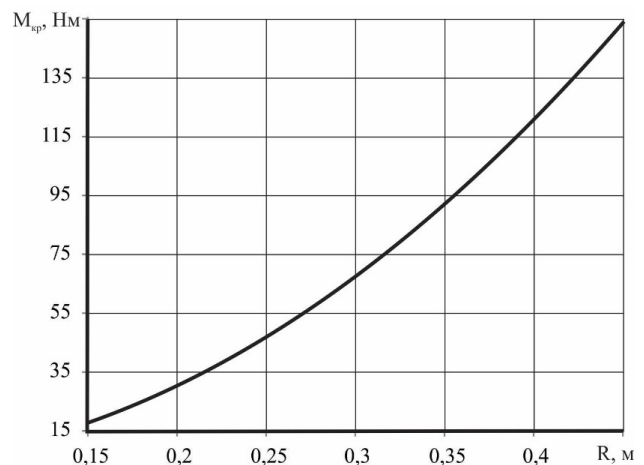


Рис. 2. Зависимость  $M_{кр} = f(R)$  при  $\lambda = 6$  = const.

Скорее всего, причина возрастания крутящего момента объясняется увеличением абсолютной скорости движения ножа и силы резания почвы, а также увеличением длины траектории резания.

На графике рис. 2 показана та же зависимость, но уже при постоянстве кинематического параметра ротационной машины, с подставлением в (10) значения  $\lambda = \frac{2\pi R}{SZ}$ , где  $Z = 3$  - число ножей.

В этом случае зависимость крутящего момента от диаметра фрезы тоже изменяется по закономерности кривой второго порядка, однако возрастание крутящего момента на валу фрезы происходит более интенсивно, что, думается, обусловлено увеличением подачи на нож – почти в 3 раза: с 5 до 15,7 см, и, соответственно,

толщины отрезаемой почвенной стружки, ростом абсолютной скорости движения ножа и силы резания почвы, а также увеличением длины траектории резания.

### Заключение

По результатам проведенных нами теоретических исследований, можно установить, что, с точки зрения характера изменения крутящего момента от диаметра фрезы-барабана, более достоверны опытные выводы Г.Ф. Попова, который считает, что эта зависимость имеет вид кривой, близкой к гиперболе.

Обобщая вышеперечисленные рассуждения, можно также прийти к выводу, что диаметр фрезы-барабана с вертикальной осью вращения следует выбирать по возможности минимальным, учитывая его соответствие технологическим требованиям по исключению забивания ножей фрезы камнями и растительными остатками.

### Литература

1. Далин А.Д., Павлов П.В. Ротационные грунтообрабатывающие и землеройные машины. - М.: Машгиз, 1950. - 258 с.
2. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. - М.: Машиностроение, 1977. - 328 с.
3. Petrosyan, D., Grigoryan, A., Ezekyan, T. (2015). Energy Estimation of the Cutter with Vertical Axis of Rotation at Inter-Bush Cultivation of Vineyards. Bulletin of National Agrarian University of Armenia. 2(50),- pp. 68-71 (in English).
4. Ezekyan, T. (2015). Definition of the Parameters of Soil Cutting for the Cutter with Vertical Spinning Axis. Telavi State University Collection of Scientific Works. 1(28), - pp. 30-33 (in Russian).

### ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

#### Ուղղաձիգ պտտման առանցքով ֆրեզի տրամագծի ազդեցությունը հողի կտրումից առաջացած դիմադրության մոմենտի վրա

Չորվածում դիտարկվել է ուղղաձիգ պտտման առանցքով ֆրեզի տրամագծի ազդեցությունը տեխնոլոգիական գործընթացի էներգատարության վրա: Վերլուծությամբ հաստատվել է Գ.Ֆ. Պոպովի մոտեցումը, որի համաձայն՝ ֆրեզի պտտող մոմենտի կախվածությունը տրամագծից փոփոխվում է երկրորդ կարգի կորի օրինաչափությամբ:

Մեր կարծիքով՝ ֆրեզի հաստատուն մատուցման դեպքում դրա տրամագծի մեծացման արդյունքում պտտող մոմենտի աճը պայմանավորված է դանակի բացարձակ արագության, հողի կտրման ուժի և հետագծի երկարության մեծացմամբ: Եթե հաստատուն է պահվում ռոտացիոն մեքենայի կինեմատիկական պարամետրը, ապա նշված գործոններին ավելանում է նաև կտրվող հողային տաշեղի հաստության մեծացումը:

### ABSTRACT

#### The Effect of Diameter in Soil-Tilling Cutter with Vertical Rotation Axis on the Resistance Moment Resulted from Soil Cutting

The article considers the effect of the diameter in the soil-tilling cutter with vertical rotation axis on the energy intensity of the technological process. By the analysis the approach of G.F. Popov has been approved according to which the dependence of the cutter's rotation moment (torque) on its diameter varies due to the regularities of the second-order curve.

We believe that upon the constant cutter supply the growth of torque with increasing diameter is accounted for absolute knife speed, cutting force of the soil, as well as for the increase in the length of cutting trajectory. If the kinematic parameter of the rotary machine stays constant, then the increase in the thickness of cutting soil slice supplements the above mentioned reasons.

Статья опубликована в рамках научной темы 18Ар\_2к13 Комитета по науке Министерства образования и науки РА.

Принята: 08.05.2019 г.  
Рецензирована: 05.06.2019 г.