

УДК 631.314.4

**Теоретические предпосылки определения производительности шнека  
работающего совместно с ковшом планировщика.**

к.т.н., доцент Хасанов И.С (Бухарский филиал Ташкентского института  
иригации и мелиорации), старший преподаватель Норов С. Н (Бухарского инженерно  
технологического института), магистрант Хасанов У.И. ((Бухарский филиал  
Ташкентского института иригации и мелиорации)

Известно, что величина и характер изменения угловой скорости частицы материала определяют производительность и энергетические показатели на транспортирование материала шнеком. Рассмотрим движение частицы почвенным вала массой  $dm$ , расположенной в точке  $O$  наклонного цилиндрического шнека на расстоянии  $r$  от оси шнека (рисунок 1. а и б.) и движущуюся по траектории абсолютного движения  $AB$ ; оси  $\tau$ ,  $b$  и  $n$  – соответственно касательной, бинормаль и нормаль к траектории абсолютного движения. Ось  $n$  направлена к центру кривизны и совпадает с осью  $y$ . Ось  $Z$  параллельна оси шнека, оси  $x$  и  $y$  расположены по касательной и нормали в плоскости  $PP$  шнека, перпендикулярной его оси ШШ;  $\Gamma\Gamma$  горизонтальная плоскость. [2]

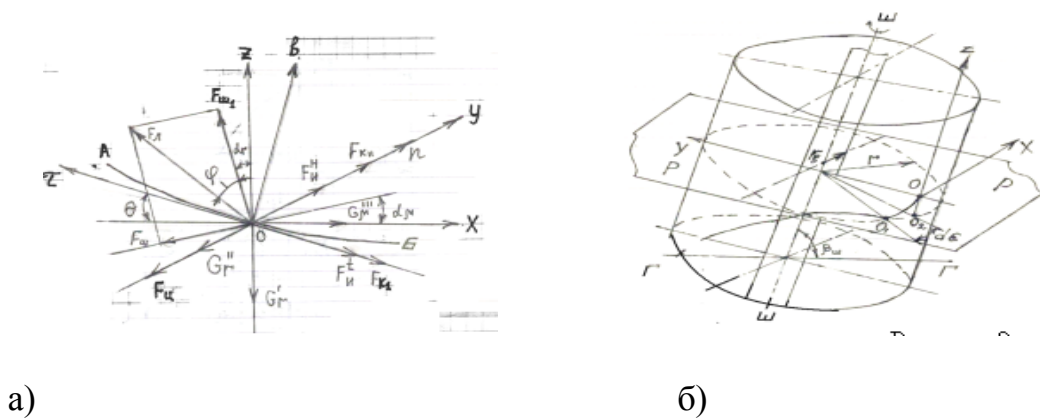


Рисунок 1

На частицу почвы действуют следующие силы: сила тяжести частицы  $Gr = gdm$ , которую можно разложить на три составляющие, осевую  $Gr^I = Gr \cdot \sin \beta_{ш}$  (по оси  $z$ ), радиальную  $G_r^{II} = G_r \cdot \cos \beta_{ш} \cdot \cos \varepsilon$  (по оси  $y$ ) и касательную  $G_r^{III} = G_r \cdot \cos \beta_{ш} \cdot \sin \varepsilon$  (по оси  $x$ ); центробежная сила  $F_y = \omega_r^2 \cdot \mu \cdot d \cdot m$  (по оси  $y$ ), сила трения частицы о кожух отвала  $F_{к_1}$  (по оси  $\tau$ ), сила трения о винтовую поверхность  $F_{ш}$  (под углом наклона винтовой линии  $\alpha_r$  к оси  $x$ ); касательную силу инерции  $F_u^I$ , действующая по касательной к траектории абсолютного движения частицы (ось  $\tau$ ) и направленная противоположно вектору абсолютной скорости частицы  $\vec{V}$  (рисунок 2 а); нормальная сила инерции  $F_u^{II}$ , направленная к центру кривизны траектории (по оси  $n$ ); нормальная реакция соседнего слоя  $F_{к_{II}}$  (по оси  $n$ ) и винтовой поверхности  $F_{ш_1}$  (под углом  $\alpha_r$  к оси  $z$ ).  $\beta_{ш}$  - угол наклона шнека к горизонту;  $\varepsilon$  - текущий угол поворота частицы, отсчитываемый от проекции  $O_2$  частицы на плоскость  $PP$ . Равнодействующая  $F_n$  нормальной реакции винтовой поверхности  $F_{ш_1}$  и силы трения о винтовую поверхность  $F_{ш} = fF_{ш_1}$  отклонена от нормали и винтовой поверхности на угол трения  $\varphi = \arctg f$ , где  $f$  коэффициент трения грунта по металлу шнека. Если считать, что разрыхленный грунт перед ковшом планировщика глиной, то значение этого коэффициента равняется  $0,6 \dots 0,7$ . [2]

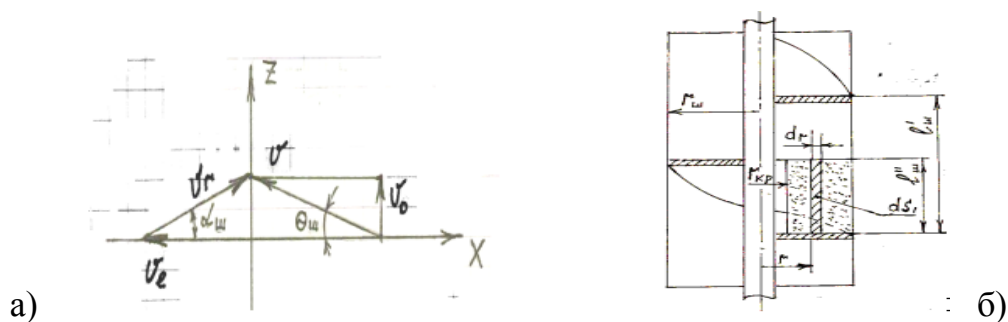


Рисунок 2

Сила трения частицы о ковш, вызванная совместным действием сил  $F_{ц}$  и  $G_{г}^{II}$  равна:

$$F_{k_1} = f_r (F_u + G_r^{II}) = f_r (\omega_r^2 \cdot r + g \cos \beta_u \cdot \cos \mathcal{E}) \cdot dm,$$

где  $f_r$  и  $f$  соответственно коэффициенты трения частицы о ковш и соседний слой материала и винтовую поверхность.

Абсолютная скорость частицы –

$$\mathcal{G} = \sqrt{\mathcal{G}_t^2 + \mathcal{G}_o^2} = r \sqrt{\omega_r^2 + (\omega - \omega_r)^2 \cdot \operatorname{tg}^2 a_r} \quad (1.)$$

где  $\mathcal{G}_t$  – тангенциальная скорость частицы на радиусе  $r$  от оси шнека,  $\mathcal{G}_t = \omega_r \cdot r$ ;

$\mathcal{G}_o$  – осевая скорость частицы на радиусе  $r$  от оси шнека,  $\mathcal{G}_o = (\omega - \omega_r) \operatorname{tg} a_r$ ;

$\omega$  – угловая скорость шнека;  $a_r$  – угол наклона винтовой линии шнека на радиусе  $r$  (рисунок 1 а).

Касательную силу инерции определим следующим образом:

$$F_u^t = \frac{d\mathcal{G}}{dt} dm = \frac{r[\omega_r - (\omega - \omega_r) \operatorname{tg}^2 a_r]}{\sqrt{\omega_r^2 + (\omega - \omega_r)^2 \operatorname{tg}^2 a_r}} \cdot \frac{d\omega_r}{dt} dm \quad (2.)$$

нормальная сила инерции:

$$F_u^n = \mathcal{G}^2 \cdot r_a^{-1} \cdot dm = r^2 [\omega_r^2 + (\omega - \omega_r)^2 \cdot \operatorname{tg}^2 a_r] \cdot [r(1 + \operatorname{tg}^2 \theta)]^{-1}, \quad (3.)$$

где  $r_a$  – радиус кривизны траектории в рассматриваемой точке,  $r_a = r(1 + \operatorname{tg}^2 \theta)$ ;

$\theta$  – угол наклона винтовой линии траектории частицы к оси X (рисунок 2.)

$$\operatorname{tg} \theta = \operatorname{tg} a_u (\omega - \omega_r) \omega_r^{-1}, \quad (4.)$$

где  $a_u$  – угол наклона винтовой линии шнека на периферии.

Согласно принципу Даламбера [3], уравнение динамического равновесия материальной частицы в проекциях на оси натурального триедра траектории  $(\tau, b, n)$ , рисунок 2. будет

$$\begin{aligned} \sum \mathcal{T} = & [F_n \sin(a_r + \theta + \varphi) - G_r^{III} \cos \theta - F_{k_1} - F_u^t - G_r^I \sin \theta] \cdot \cos \varepsilon - \\ & - (F_u + G_r^{II} - F_u^H - F_{k_{II}}) \cdot \sin \varepsilon = 0, \end{aligned} \quad (5.)$$

$$\sum b = \pm F_n \cdot \cos(a_r + \theta - \varphi) + G_r^{III} \cdot \sin \theta - G_r^I \cdot \cos \theta = 0, \quad (6.)$$

$$\begin{aligned} \sum n = & (F_u + G_r^{II} + F_u^H - F_{k_{II}}) \cdot \cos \varepsilon + [F_n \sin(a_r + \theta + \varphi) - \\ & - G_r^{III} \cdot \cos \theta - F_{k_1} - F_u^t - G_r^I \sin \theta] \cdot \sin \varepsilon \end{aligned} \quad (7.)$$

Решая эти уравнения совместно, исключая из них силу  $F_n$ , после соответствующих преобразованиях исключения и времени посредством выражения элементарного угла поворота по дуге  $O_1, O_2$  (рисунок 1.) частицы  $d\varepsilon = (\omega - \omega_r)dt$ , получим:

$$\begin{aligned} \frac{d\omega_r}{d\varepsilon} = & \frac{\pm \frac{\sin([a_r + \varphi]\omega_r + \cos(a_r + \varphi) \cdot \operatorname{tg} a_r (\omega - \omega_r))}{\cos(a_r + \varphi)\omega_r - \sin(a_r + \varphi)\operatorname{tg} a_r (\omega - \omega_r)}}{(\omega - \omega_r)r[\omega_r - (\omega - \omega_r)\operatorname{tg}^2 a_r]} \rightarrow \\ \rightarrow & \frac{[g \cdot \sin \beta_{uu} \cdot \omega_r - g \cdot \cos \beta_{uu} \sin \varepsilon \cdot \operatorname{tg} a_r (\omega - \omega_r)] -}{(\omega - \omega_r)r[\omega_r - (\omega - \omega_r)\operatorname{tg}^2 a_r]} \rightarrow \\ \rightarrow & \frac{-f_r(\omega_r^2 + g \cdot \cos \beta_{uu} \cdot \cos \varepsilon)x\sqrt{\omega_r^2 + (\omega - \omega_r)^2 \cdot \operatorname{tg}^2 a_r} -}{(\omega - \omega_r)r[\omega_r - (\omega - \omega_r)\operatorname{tg}^2 a_r]} \rightarrow \\ \rightarrow & \frac{-g \cdot \sin \beta_{uu} \cdot \operatorname{tg} a_r (\omega - \omega_r) - g \cdot \cos \beta_{uu} \sin \varepsilon \cdot \omega_r}{(\omega - \omega_r)r[\omega_r - (\omega - \omega_r)\operatorname{tg}^2 a_r]} \end{aligned} \quad (8.)$$

Интегрированием уравнения (8.) методом Эйлера [3] можно получить кривые зависимости  $\omega_r$  от  $\varepsilon$  для шнеков с различными параметрами.

В горизонтальном ( $\beta_{uu} < 30^\circ$ ) шнеке в период установившегося движения угловая скорость частицы равна нулю. Угол поворота частица  $\varepsilon$ , при котором начинается

установившееся движение, зависит от начальных условий и может быть найден из уравнения (8.):

$$\mathcal{E} = \arctg[f_r \sin(a_r + \varphi) \cos^{-1}(a_r + \varphi)] \quad (9.)$$

максимальная производительность по разрыхленному грунту, определяемая пропускной способностью между верхними витками шнека будет:

$$П = \int_{r_{кр}}^{r_{ш}} \mathcal{G}_r dS, \quad (10.)$$

где  $r_{ш}$  – наружный радиус шнека;

$\mathcal{G}_r$  – скорость скольжения грунта по винтовой поверхности шнека (относительная скорость);

$dS$  – элементарная площадь сечения грунта, расположенного между верхними витками в плоскости, перпендикулярной вектору относительной скорости.

Грунт в сечении шнека плоскостью, проходящей через ось шнека, занимает площадь, ограниченную снизу прямой линией, перпендикулярной оси шнека (рисунок 4.). Тогда в сечении получим прямоугольник длиной  $l^{II}$ , которую можно принять равной шагу шнека  $l^{II} = l^{I}_{ш}$

Элементарная площадь сечения грунта на расстояние  $r$  от оси шнека будет равна:

$$dS = dS_1 \cdot \cos a_r = l^1_{ш} dr \cos a_r = 2\pi l^1_{ш} (\sqrt{4\pi^2 \cdot r^2 + (l^1_{ш})^2})^{-1} \cdot r dr, \quad (11.)$$

где  $dS_1$  – элементарная площадь грунта в осевом сечении (рисунок 2 б)

В горизонтальных и пологонаклонных шнеках при угле наклона  $\beta_{ш} \leq 30^\circ$  угловая скорость частицы материала  $\omega^{\varphi}_{r_{ш}} = 0$ . Для расчета производительности ( $m^3/ч$ ) можно пользоваться [1] следующей формулой: [2]

$$P_T = 450(d_{ш}^2 - d_b^2)l_{ш}^1 \omega \cdot K_H K_\beta \cdot K_p^{-1}, \quad (12.)$$

где  $d_{ш}$ ,  $d_b$  – соответственно диаметры шнека и вала, м;

$K_H$  – коэффициент наполнения шнека, для нашего случая можно принять равный  $K_H=0,2 \dots 0,4$ ;  $K_\beta$  – коэффициент, учитывающий угол наклона шнека к горизонту  $K_\beta=1,0 \dots 0,8$  [2],  $K_p$  – коэффициент разрыхления грунта, для нашего случая  $K_p=1,14 \dots 1,28$  [4].

#### Выбор и обоснование основных параметров шнека.

К основным параметрам шнекового рабочего органа относятся: длина транспортирующей части –  $l_{ш}$ , режущей части –  $l_p$ , диаметр шнека –  $d_{ш}$ , окружная скорость на режущей кромке  $\vartheta_{окр}$ , шаг шнека –  $l_{ш}^l$ , рабочая скорость перемещения  $\vartheta_p$ .

Длину транспортирующей и режущей частей шнека принимают конструктивно, исходя из типа шнека и параметров обрабатываемой среды. Для предварительных расчетов можно принимать длину транспортирующей части горизонтально расположенного шнека  $l_{ш}=l_p=(0,7 \dots 0,8)в_n$ , где  $в_n$  – ширина захвата ковша планировщика.

Диаметр шнека  $d_{ш}$  с горизонтально расположенным рабочим органом при заданной производительности  $P_T$  может быть определен из формулы (12.) после некоторых преобразований, м;

$$d_{ш} \geq \sqrt{P_T \cdot K_p (900 \vartheta_{окр} \cdot K_a K_H \cdot K_\beta)^{-1} + d_b^2}, \quad (13.)$$

где  $\vartheta_{окр}$  – окружная скорость на режущей кромке шнека,  $\vartheta_{окр}=1,5 \dots 3$  м/с;  $K_a$  – коэффициент, учитывающий наклон режущей кромки шнека,  $K_a=l_{ш}^l/d_{ш}=0,7 \dots 1,0$ .

Шаг, горизонтально расположенного шнека  $l'_{ш}$  принимаем равным  $l'_{ш} = K_a d_{ш}$ , значение  $K_a$  принимают в зависимости от наклона режущей кромки шнека. Для нашего случая можно принять  $K_a$  равным 0,85.

Рабочая скорость перемещения грунта шнеком должна равняться скорости наполнения ковша планировщика грунтом. Последнее зависит от скорости поступательного движения планировщика. Для нашего случая с определенной точностью можно принять  $v_{сп} = v_{ков} = v_{п}$ , где  $v_{сп}$  – скорость перемещения грунта шнеком,  $v_{ков}$  – скорость наполнения ковша планировщика грунтом,  $v_{п}$  – поступательная скорость движения планировщика, м/с.

Рабочую скорость перемещения планировщика ещё можно определить из условия обеспечения заданной производительности на срезе грунта ковшом планировщика. Для горизонтально расположенного шнека рабочая скорость ( $v_{п}$ ) перемещения, м/с:

$$v_{п} = P_T \cdot l_p^{-1} \cdot h_p^{-1}, \quad (14.)$$

где  $P_T$  – производительность планировочного агрегата на срезе грунта, м<sup>3</sup>/с;

$l_p$  – длина режущей части ножа планировщика, м;  $h_p$  – толщина срезаемого слоя грунта, м.

Анализ выше приведенной теоретической предпосылки определение производительности шнекового рабочего органа говорит о том, что с увеличением скорости вращения и диаметров шнека увеличивается производительности шнекового рабочего органа. Немаловажное значение имеет и шаг шнека с увеличением которой увеличивается объем перемещаемого грунта к боковым стенкам ковша планировщика, что в свою очередь способствует равномерному распределению грунта призмы

волочения по ширине прохода планировщика. С увеличением скорости поступательного движения планировщика работоспособность шнекового рабочего органа возрастает, то есть большой объем грунта шнеки перемещают в стороны относительно друг от друга. Но такое улучшение работы шнекового рабочего органа для нашего случая, как показали выборочные опыты с экспериментальным образцом мини планировщика происходит до скорости 2 м/с поступательного движения агрегата. Свыше этой скорости шнеки начинают забиваться грунтом и технологический процесс работы шнекового рабочего органа нарушаются.

### **Литература.**

1. Г. В. Веденяпин и другие. Эксплуатация машинно-тракторного парка. Изд-во «Сельхозлитература». Москва, 1963г.

2. Васильев Б. А. и др. «Мелиоративные машины». Москва, «Колос», 1980г

3. Бермант А. Ф. «Курс математического анализа». Часть I и II, Издательство «Технико-теоретической литературы», Москва, 1956г.

4. Ветров Ю. А. «Резание грунтов землеройными машинами», Москва «Машиностроение», 1971г.