



**РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ФАКТОРОВ ОТДЕЛОЧНОЙ  
ОБРАБОТКИ ДЛИННОМЕРНЫХ  
ДЕТАЛЕЙ В ВИНТОВЫХ РОТОРАХ**

✉<sup>1</sup> **Лебедев Валерий Александрович**  
заведующий кафедрой «Металлорежущие  
станки и инструменты», к.т.н., профессор,  
Донской государственной технической уни-  
верситет, г. Ростов-на -Дону, Россия  
e-mail: [va.lebidev@yandex.ru](mailto:va.lebidev@yandex.ru)

**Коваль Николай Сергеевич**

доцент кафедры «Приборостроение и биоме-  
дицинская инженерия», к.т.н., Донской госу-  
дарственный технический университет, г. Ро-  
стов-на-Дону, Россия

**Аль-Обайди Луаи Мохаммед Раджаб**

аспирант кафедры «Технология машиностро-  
ения», Донской государственной техниче-  
ский университет, г. Ростов-на-Дону, Middle  
Technical University, Institute of Technolo-  
gy/Baghdad, Baghdad, Iraq.

**Аннотация.**

Показана сущность винтовых роторов и их  
технологические возможности для отделочной  
обработки длинномерных деталей; предложе-  
ны аналитические зависимости для расчета  
удельного металлосъема, продолжительности и  
геометрических размеров детали, ротора, гра-  
нул обрабатывающей среды, обеспечивающих  
требуемое качество деталей и производитель-  
ность обработки в винтовых роторах.

**Ключевые слова:** ВИНТОВОЙ РОТОР, ОБ-  
РАБАТЫВАЮЩАЯ СРЕДА, ОТДЕЛОЧНАЯ  
ОБРАБОТКА, УДЕЛЬНЫЙ МЕТАЛЛОСЪЕМ,  
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ.

<sup>1</sup> Автор для ведения переписки

**CALCULATION OF TECHNOLOGICAL  
FACTORS FOR FINISHING LONG  
PARTS IN SCREW ROTORS**

✉<sup>1</sup> **Lebedev Valerii Aleksandrovich**  
head of the department "Metal-cutting ma-  
chines and tools", ph.d. professor, Don State  
Technical University, Rostov-on-Don, Russia  
e-mail: [va.lebidev@yandex.ru](mailto:va.lebidev@yandex.ru)

**Koval Nikolay Sergeevich**

associate professor of the department "  
Instrument making and biomedical engineer-  
ing ", ph.d., Don State Technical University,  
Rostov-on-Don, Russia

**Al Obaydi Luai Mohammed Rajab**

post-graduate student of the department of  
mechanical engineering technology, Don  
State Technical University, Rostov-on-Don,  
Middle Technical University, Institute of  
Technology/Baghdad, Baghdad, Iraq.

**Annotation.**

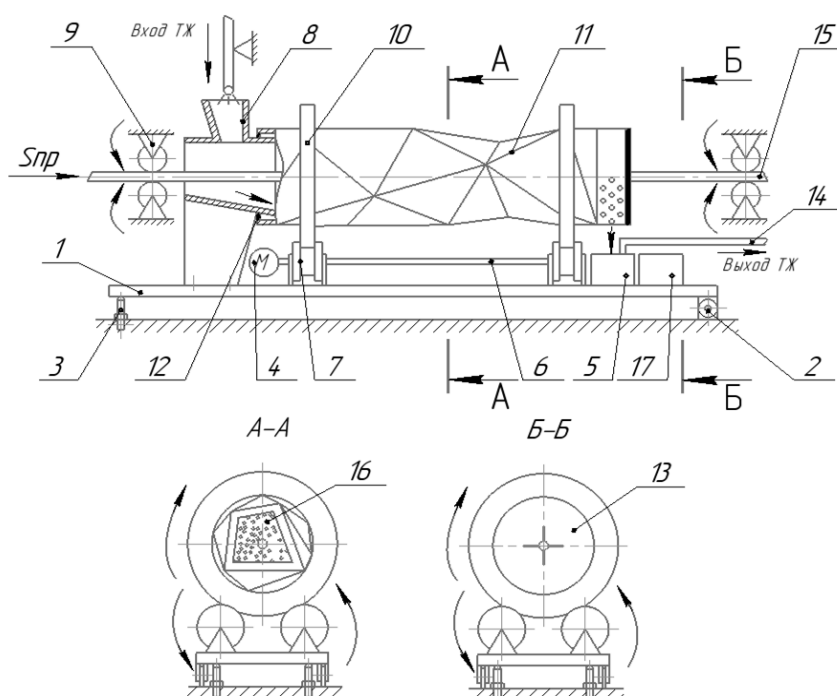
The essence of screw rotors and their techno-  
logical capabilities for finishing processing of  
long parts are shown; analytical dependences  
are proposed for calculating the specific metal  
removal, duration and geometrical dimen-  
sions of the part, rotor, granules of the pro-  
cessing medium, ensuring the required quality  
of parts and processing productivity in screw  
rotors.

**Key words:** SCREW ROTOR, PRO-  
CESSING MEDIUM, FINISHING TREAT-  
MENT, SPECIFIC METAL REMOVAL,  
PRODUCTIVITY.

**1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы**

Разработка и внедрение в технологическую практику винтовых роторов позволяет эффективно решить задачу отделочно-зачистной обработки длинномерных деталей путем

создания на их основе технологических систем проходного типа, обеспечивающих сокращение производственных площадей [1-5]. Винтовые роторы – это пространственные объекты с оригинальной геометрической формой периметра рабочего органа, в которых детали и гранулы обрабатываемой среды осуществляют одновременно непрерывное вращательное движение вокруг оси рабочего органа и поступательное движение, непрерывно перемещаясь вдоль горизонтальной оси вращения рабочего органа. Движения в винтовых роторах обеспечиваются массой загрузки за счет оформления их наружных поверхностей, дискретно расположенными по периметру, плоскими элементами различной формы и типоразмеров, разнонаправленными по отношению к винтовым линиям по их наружной поверхности [6-13]. Образование сложной поверхности винтового ротора в виде сочетания криволинейных поверхностей, в каждой точке которых возникают разнонаправленные составляющие движения, усиливают эффект обработки. На рисунке 1 представлена технологическая схема, позволяющая обрабатывать длинномерные детали различного профиля в винтовом роторе [14].



1 – установочная рама; 2 – проушины; 3 – регулировочные винты; 4 – двигатель;  
 5 – бак-отстойник; 6 – приводные валы; 7 – роликовые опоры; 8 – обечайки; 9 – ролики;  
 10 – ободы; 11 – винтовой ротор; 12 – прокладка; 13 – прокладка с прорезью; 14 – система трубопроводов; 15 – деталь; 16 – обрабатываемая среда; 17 – контейнер

Рисунок 1 – Технологическая схема отделочно-зачистной обработки длинномерных деталей в винтовом роторе

Обрабатываемая гранулированная среда, находясь внутри вращающегося винтового ротора, увлекаясь плоскими элементами, в определенный момент под действием силы тяжести скатывается лавинообразно вниз. При скатывании верхние слои масс загрузки вращаются вокруг собственных осей, втягивая близлежащие слои частиц масс загрузки. В результате частицы масс загрузки перекаатываются относительно друг друга. Помимо этого, при скатывании лавиной по неровной поверхности нижележащих слоев происходят удары небольшой силы и скольжение частиц масс загрузки. Таким образом, детали обрабатываются истиранием, царапаньем и, в небольшой мере, ударом. Интенсивность протекания этих процессов за-

висит от габаритов винтового ротора, масс частиц обрабатываемой среды, коэффициента заполнения рабочей камеры, скорости вращения, геометрии винтового ротора и ряда других факторов [15].

Целью настоящих исследований являлось обоснование зависимостей для расчета технологических факторов, обеспечивающих выбор рациональной технологии отделочной обработки длинномерных деталей в устройствах, оснащённых винтовым ротором.

## 2 Результаты исследований

### 1 Расчет удельного съёма металла.

Рассмотрим скользящий слой обрабатываемой среды как совокупность элементарных слоёв толщиной, соизмеримой с диаметром описанной окружности её частиц  $D_{ч}$  (рис.2).

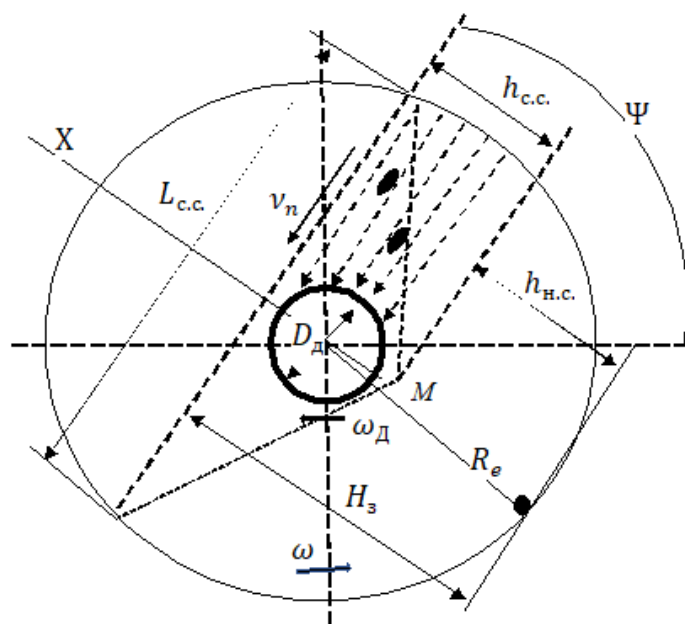


Рисунок 2 – Схема обработки деталей в винтовом роторе

Сделаем допущение, что скорость элементарного слоя на поверхности загрузки равна скорости слоя, находящегося в контакте с поверхностью, а в точке их соприкосновения, совпадающей с центром масс обрабатываемой среды, равна нулю. При этом деталь занимает четко фиксированное положение относительно скользящего слоя в координатах  $X, Y$  и вращается вокруг собственной оси с угловой скоростью  $\omega_d$  (рис. 2). Количество элементарных слоёв, взаимодействующих с деталью, можно определить из соотношения

$$N_{с.с.} = D_d / D_{ч},$$

где  $D_d$  – диаметр окружности, описывающий в конкретном сечении профиль длинномерной детали.

Запишем выражение для определения скорости резания частиц скользящего слоя обрабатываемой среды  $\bar{v}_p$  в виде:

$$\bar{v}_p = \bar{v}_n \pm \bar{v}_d, \quad (1)$$

где  $v_n$  – скорость частицы обрабатываемой среды в месте контакта с обрабатываемой поверхностью, определяемой по формуле [16]:

$$v_p = \omega \left( R - \frac{D_{ч}}{2} \right) \sqrt{(1 + \cot^2(\gamma) \cos^2 \Psi) (1 - k_n)^n}, \quad (2)$$

где  $v_d$  – скорость поверхности детали в точке контакта, равная  $v_d = \omega_d \cdot D_d / 2$ ;  $R$  – радиус

рабочей зоны винтового ротора;  $\gamma$  – угол наклона оси винтового ротора (до  $5^0$ );  $\Psi$  – угол отрыва частиц обрабатываемой среды от ротора;  $k_n$  – коэффициент проскальзывания элементарных слоёв;  $n$  – порядковый номер слоя удаленного на расстоянии  $X$  от верхнего слоя скользящей зоны.

С учетом выражений (1) и (2) получим расчетную формулу скорости резания частиц при встречном вращательном движении обрабатываемой среды и обрабатываемой детали

$$v_p = \omega \left( R - \frac{D_{ч}}{2} \right) \sqrt{(1 + \cot^2(\gamma) \cos^2 \Psi)(1 - k_n)^n} + \omega_d \cdot D_d / 2, \text{ м/с.} \quad (3)$$

Установленные закономерности движения сплошных сред [16, 17] позволяют представить формулу для определения динамического давления в точке контакта элементарного скользящего слоя обрабатываемой среды с обрабатываемой поверхностью следующим образом:

$$p_{д.} = (\rho_{о.с.}) \left[ \omega \left( R - \frac{D_{ч}}{2} \right) \sqrt{(1 + \cot^2(\gamma) \cos^2 \Psi)(1 - k_n)^n} \right]^2. \quad (4)$$

Определив статическое давление как (рис.2)

$$p_{ст} = \rho_{о.с.} g \frac{L_{с.с.}}{2} (1 - k_n)^n \sin \Psi, \quad (5)$$

запишем выражение для определения давления в точке контакта элементарного скользящего слоя обрабатываемой среды с обрабатываемой поверхностью:

$$p = \rho_{о.с.} (1 - k_n)^n \left[ \omega^2 \left( R - \frac{D_{ч}}{2} \right)^2 (1 + \cot^2(\gamma) \cos^2 \Psi)(1 - k_n)^n + g \frac{L_{с.с.}}{2} \sin \Psi \right]. \quad (6)$$

В работах [18, 19], посвященных исследованию воздействия потока гранулированной абразивной среды на поверхность детали показано, что величина удельного съема металла, пропорциональна плотности потока энергии среды, взаимодействующей с поверхностью детали, и зависящей от средней скорости среды  $v$  и её давления  $p$  на обрабатываемую поверхность. Этот экспериментально установленный факт позволяет для определения удельного съема металла при обработке в винтовых роторах использовать предложенное в них соотношение:

$$\gamma_{уд} = \frac{E}{\Sigma_{\phi}}, \quad (7)$$

где  $E$  – плотность потока энергии среды,  $\text{кг/с}^3$ ;  $\Sigma_{\phi}$  – комплексный параметр, характеризующий микромеханику разрушения в процессе контактного взаимодействия гранул обрабатываемой среды с поверхностью,  $\text{кг/м} \cdot \text{с}^2$ .

Согласно гидродинамической аналогии [20], выражение плотности потока энергии обрабатываемой среды имеет в вид:

$$E = \left( \frac{\rho_{о.с.} \cdot v_p^2}{2} + p \right) \cdot v_p. \quad (8)$$

Подставляя выражения (3) и (6) в (8), получим:

$$E = 0.5 \rho_{о.с.} (\omega R_e B + \omega_d \cdot R_d) \times \left[ (\omega R_e B + \omega_d \cdot R_d)^2 + (2\omega^2 R_e^2 B^2 + g L_{с.с.} \sin \Psi (1 - k_n)^n) \right], \text{ кг/с}^3 \quad (9)$$

где  $B = \sqrt{(1 + \cot^2(\gamma) \cos^2 \Psi)(1 - k_n)^n}$  – кинематический параметр;  $R_e = \left( R - \frac{D_{ч}}{2} \right)$  – расстояние от оси вращения винтового ротора до центра масс гранул обрабатываемой среды, находящихся в контакте со стенками ротора;  $R_d = D_d / 2$  – радиус окружности, описывающей профиль обрабатываемой детали в сечении.

С учетом (7) и (9) получим формулу для определения скорости съема металла с по-

верхности детали при обработке в винтовых роторах в функции от конструктивных параметров ротора, гранулометрических характеристик обрабатывающей среды, режимов обработки, геометрических и физико-механических характеристик обрабатываемых деталей:

$$\gamma_{уд} = \frac{0.5\rho_{o.c.}}{\Sigma_{\phi}P} (\omega R_e B + \omega_d \cdot R_d) \times \left[ (\omega R_e B + \omega_d \cdot R_d)^2 + (2\omega^2 R_e^2 B^2 + gL_{c.c.} \sin \Psi (1 - k_n)^n) \right], \text{ м/с} \quad (10)$$

или

$$\gamma_{уд} = \frac{0.5\rho_{o.c.}\rho_d D_ч^2}{\Sigma_{\phi}P} (\omega R_e B + \omega_d \cdot R_d) \times \left[ (\omega R_e B + \omega_d \cdot R_d)^2 + (2\omega^2 R_e^2 B^2 + gL_{c.c.} \sin \Psi (1 - k_n)^n) \right], \text{ кг/с} \quad (11)$$

где  $\rho_d$  – плотность материала обрабатываемой детали;  $P$  – интенсивность обработки, обеспечивающая процесс съема металла.

На основании теоретических и экспериментальных исследований контактного взаимодействия гранул обрабатывающей среды с поверхностью обрабатываемой детали, представленных в работах [17, 20], получено выражение для оценки комплексного параметра  $\Sigma_{\phi}$ :

$$\Sigma_{\phi} = HV \cdot \exp\left(\frac{\Delta H_{Ts} - k_r \cdot V_m HV_{cp}}{RT}\right), \text{ Па} \quad (12)$$

где  $HV$  – твердость обрабатываемого материала, Па;  $V_m$  – молярный объем, м<sup>3</sup>/моль;  $R = 0,008314$  кДж/моль·К;  $T$  – абсолютная температура, К;  $\Delta H_{Ts}$  – предельная удельная энергия, которую согласно [17] способна поглотить кристаллическая решетка и которая должна соответствовать величине равной разности теплосодержания (энтальпии) материала в твердом состоянии при температуре плавления  $H_{Ts}$  и энтальпии при 293К, кДж/моль;  $HV_{cp}$  – твердость обрабатывающей среды, Па;  $k_r$  – коэффициент учитывающий тепловой эффект.

Из выражения (12) следует, что комплексный параметр  $\Sigma_{\phi}$  является константой, его величина зависит от свойств обрабатываемого материала, обрабатывающей среды и не зависит от динамического состояния среды. Величина комплексного параметра  $\Sigma_{\phi}$  для наиболее часто используемых конструкционных материалов и обрабатывающих сред, характеризующая обрабатываемость металла в потоке свободного абразива, полученная по результатам экспериментальных исследований [17] и рассчитанных по формуле (12), представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Величина комплексного параметра  $\Sigma_{\phi}$ , Па

Обрабатывающая среда	Обрабатываемый материал			
	Сталь 45	Сталь 20	Д16Т1	В95
Шар фарфоровый $D = 6$ мм;	$17 \cdot 10^{10}$	–	$8 \cdot 10^{10}$	–
Конус абразивный $D = 5$ мм	$9,5 \cdot 10^{10}$	–	$5 \cdot 10^{10}$	–
Призма ПТ $D = 6-8$ мм	$8,5 \cdot 10^{10}$	–	$3,5 \cdot 10^{10}$	–
Орех (дробленый) $D = 6$ мм	–	$14,4 \times 10^{10}$	$7,14 \times 10^{10}$	$8,27 \times 10^{10}$

## 2 Расчет продолжительности обработки в винтовом роторе

В зависимости от решаемой технологической задачи в качестве критерия продолжительности обработки в винтовом роторе может быть принята одна из следующих величин [19, 20]:

– масса дефектного слоя металла толщиной  $\Delta L$ , удаляемого с площади квадрата упаковки, равного  $D_ч^2$

$$Q_{д.с.} = D_ч^2 \Delta L \rho_д, \text{ кг}; \quad (13)$$

– масса металла, обеспечивающего снижение исходной шероховатости поверхности на величину  $\Delta R_z$  на площади, ограниченной квадратом упаковки:

$$Q_{ш} = k_{пр} \Delta R_z D_ч^2 \rho_д, \text{ кг} \quad (14)$$

где  $k_{пр}$  – коэффициент, учитывающий вид профиля исходной шероховатости.

– масса металла, обеспечивающая скругление острых кромок для получения закругления требуемого радиуса  $r$  в пределах площади, ограниченной квадратом упаковки:

$$Q_k = 0,43 D_ч r^2 \rho_д, \text{ кг} \quad (15)$$

– масса металла заусенцев, удаляемых на участке поверхности, длина которого равна диаметру абразивной частицы  $D_ч$

$$Q_з = D_ч L_0 \rho_д, \text{ кг} \quad (16)$$

где  $L_0$  – толщина заусенца у основания, соизмеримая с его высотой.

Используя критерии (13-16), а также формулу (7), устанавливающую скорость съема металла с поверхности детали при обработке в винтовых роторах, получим зависимости для определения продолжительности обработки, предусматривающих:

$$\text{– удаление дефектного слоя:} \quad t_{д.с.} = Q_{д.с.} / \gamma_{уд}; \quad (17)$$

$$\text{– снижение шероховатости} \quad t_{ш} = Q_{ш} / \gamma_{уд}; \quad (18)$$

$$\text{– скругление острых кромок} \quad t_k = Q_k / \gamma_{уд}; \quad (19)$$

$$\text{– удаления заусенцев} \quad t_з = Q_з / \gamma_{уд}. \quad (20)$$

При организации обработки длинномерных деталей в установках проходного типа с применением винтового ротора, имеющего длину рабочей зоны  $L_{р.з.}$ , полученные зависимости (31-34) позволяют обосновать минутную подачу детали по формуле:

$$S_д = L_{р.з.} / t, \text{ м/мин.} \quad (21)$$

3 Обоснование геометрических размеров длинномерных деталей (в сечении), гранулометрических характеристик обрабатываемой среды и их массоразмерных соотношений с габаритными (в сечении) размерами рабочей зоны винтового ротора

Из вышеприведённых исследований следует, что для обеспечения технологической эффективности обработки деталей в винтовом роторе, описываемый их профиль (в сечении) диаметр окружности не должен превышать высоту скользящего слоя  $h_{с.с.} \approx H_3/2$ .

Таким образом, в основу выбора размеров сечения профиля длинномерных деталей должно быть положено условие:

$$D_д < H_3/2. \quad (22)$$

Для установления связи геометрических размеров длинномерных деталей (в сечении), с гранулометрическими характеристиками обрабатываемой среды и габаритными (в сечении) размерами рабочей зоны винтового ротора запишем основные размерные соотношения, определяющие технологический эффект обработки деталей в винтовом роторе:

$$\begin{cases} U_з = K_з U_{в.р.} \\ U_д = K_v U_{о.с.} \end{cases}, \quad (23)$$

где  $U_з$  – объем загрузки рабочей зоны винтового ротора;  $U_{в.р.}$  – объем рабочей зоны винтового ротора;  $K_з$  – уровень загрузки рабочей зоны винтового ротора с рекомендуемым диапазоном значений  $K_з = 0,5 - 0,6$ ;  $U_д$  – объем обрабатываемой детали в пределах рабочей зоны винтового ротора;  $U_{о.с.}$  – объем обрабатываемой среды, загружаемой в рабочую зону винто-

вого ротора;  $K_v$  – коэффициент, устанавливающий долю заполнения объема загрузки рабочей зоны винтового ротора объёмами детали и обрабатывающей средой при обработке.

Исходя из выражения (23) и геометрических соотношений (рис. 2) запишем зависимость

$$K_v = \frac{\pi D_d^2}{4 \left[ K_3 \pi R^2 - \frac{\pi D_d^2}{4} \right]} \quad (24)$$

На основе зависимости (24) с учетом условия (22) и выражения  $H_3 = R(1 + \cos \Psi)$  получим формулу для определения коэффициента  $K_v$

$$K_v = \frac{(1 + \cos \psi)^2}{16 K_3 - (1 + \cos \psi)^2} \quad (25)$$

Объем загрузки рабочей зоны винтового ротора складывается из объема обрабатываемой детали и объема обрабатывающей среды:

$$U_3 = U_d + U_{o.c.} \quad (26)$$

Выразив в (26) объем обрабатывающей среды через объем обрабатываемой детали, согласно (23) получим:

$$U_d \left( 1 + \frac{1}{K_v} \right) = K_3 U_{в.р.} \quad (27)$$

Принимая, что  $U_d = \pi D_d^2 L_k / 4$ ,  $U_{в.р.} = \pi R^2 L_k$  получено выражение для определения максимального размера профильного сечения обрабатываемой длинномерной детали исходя из выбранного размера рабочей зоны винтового ротора с учетом гранулометрических характеристик обрабатывающей среды:

$$D_{d,max} = 2R \sqrt{\frac{K_3 K_v}{K_v + 1}} \quad (28)$$

Выразив в выражении (27) объем обрабатываемой детали через объем обрабатываемой среды, согласно соотношению (23), получим:

$$U_{o.c.} (1 + K_v) = K_3 U_{в.р.} \quad (29)$$

Представление площади занимаемой гранулами обрабатывающей среды в сечении рабочей зоны винтового ротора в виде совокупности квадратных упаковок площадью  $S_{уп} = 4K_d^2 D_ч^2$ , где  $K_d$  - коэффициент диссипации среды, позволяет определить объем обрабатываемой среды, загружаемой в рабочую зону винтового ротора для обработки длинномерных деталей, следующим образом

$$U_{o.c.} = 4K_d^2 D_ч^2 N L_k \quad (30)$$

Подставляя (30) в (29), получим выражение для определения количества квадратных упаковок  $N$  площадью  $S_{уп}$

$$N = \frac{K_3 \pi R^2}{4K_d^2 D_ч^2 (1 + K_v)} \quad (31)$$

а также определим массу загрузки обрабатывающей среды в рабочую зону винтового ротора для обработки длинномерных деталей исходя из выбранного размера рабочей зоны винтового ротора и с учетом гранулометрических характеристик обрабатывающей среды

$$M_{o.c.} = \rho_{o.c.} \frac{K_3 \pi R^2 L_k}{(1 + K_v)} \quad (32)$$

где  $\rho_{o.c.}$  – плотность гранул обрабатывающей среды.

### 3 Обсуждение и заключение

Предложенные в результате теоретических исследований аналитические зависимости дают возможность на стадии технологической подготовки производства обосновать технико-экономическую целесообразность проведения отделочной обработки длинномерных деталей в роторно-винтовых технологических системах, а также спроектировать наиболее рациональную технологию, обеспечивающую требуемое качество поверхности и производительность процесса обработки.

### Список литературы

- 1 Бабичев, А. П. Основы вибрационной технологии / А. П. Бабичев, И. А. Бабичев. – 2 – е изд., перераб. и доп. – Ростов н/Д : Издательский центр ДГТУ, 2008. – 693 с.
- 2 Бутенко, В. И. Финишная обработка поверхностей деталей : способы, устройства, инструменты / В. И. Бутенко. – Ростов-на-Дону : Издат. центр ДГТУ, 2016. – 219 с.
- 3 Бурштейн, И. Е. и др. Объемная вибрационная обработка / Бурштейн И. Е., Балицкий В. В., Духовский А. Ф. – М. : Машиностроение, 1981. – 52 с.
- 4 Бабичев, А. П. Применение вибрационных технологий на операциях отделочно-зачистной обработки деталей / А. П. Бабичев, П. Д. Мотренко, Л. К. Гиллеспи и др. – Ростов н/Д : Издательский центр ДГТУ, 2010. – 285 с.
- 5 Кошкин, Л. Н. Роторные и роторно-конвейерные линии. М. : Машиностроение, 1986. 319 с.
- 6 Bremen, C. E. Ghosh, S. and Wassgren, C. R. / Vertical oscillation of a bed of granular material. // J. of Appl. Mech. – 1996 – Vol. 63, №. 1. – P. 156-161.
- 7 Серга, Г. В. Повышение производительности технологических систем отделочно-зачистной и упрочняющей обработки деталей на основе винтовых роторов / Г. В. Серга, К. А. Белокур, В. А. Лебедев, Д. Я. Яковлев // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2016. – №4.
- 8 Серга, Г. В. Технологические особенности изготовления винтовых роторов для отделочно-упрочняющей обработки деталей / Г. В. Серга, К. А. Белокур, В. А. Лебедев // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2016. – №4 (189). 8-11 с.
- 9 Пат. № 2430825 Российская Федерация МПК В24В 31/06. Устройство для отделочно-зачистной обработки / К. А. Белокур, Г. В. Серга. Заявитель и патентообладатель Федеральное государственное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2009144621/02 ; заявл. 01.12.2009 ; опубл. 10.10.2011, бюл. № 28. Опубл. 10.10.2011 Бюл. № 28.
- 10 Серга, Г. В. Исследование физических явлений происходящих в зоне контакта частиц сыпучих материалов при их движении в винтовых барабанах, методами теории подобия, инженерной и компьютерной графики / Г. В. Серга, Д. Г. Серый, А. Ю. Марченко // Вестник Брянского государственного технического университета. – Брянск, БГТУ, 2019 – № 6(79). – С. 20-29.
- 11 Серга, Г. В., Иванов А. Н. Технология финишной обработки кромок и удаления заусенцев в винтовых роторах // Технология финишной обработки прецизионных поверхностей и удаление заусенцев. сб. тр. 6-ой междунар. науч.-техн. конф. – Санкт-Петербург, 2000. – С. 249-256.
- 12 Пат. 2228252 Российская Федерация, МПК В24В31/06. Устройство для вибрационной обработки длинномерных деталей / Бабичев А. П., Бабичев И. А., Серга Г. В.; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет. – № 2002135225/02 ; заявл. 25.12.2002 ; опубл. 10.05.2004, Бюл. № 13. – 3 с.
- 13 Пат. 2185947 Российская Федерация, МПК В24В31/02. Устройство для галтовки / Иванов А. Н., Ляу А. В., Лукин И. Н., Серга Г. В. ; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет. – № 2000116854 ; заявл. 26.06.2000 ; опубл. 27.07.2002, Бюл. № 21. – 3 с
- 14 Секисов А. Н., Лебедев В. А., Аль-Обайди Луан Мохаммед Раджаб, Серга Г. В. :



2753360 Установка для отделочно-зачистной обработки деталей машин. Пат.13.08.2021. бюл. 23.

15 Серга, Г. В. Разработка конструкций устройств с большой амплитудой колебаний для отделочно-зачистной обработки деталей машин / Г. В. Серга, В. В. Иванов, В. А. Лебедев // Сборник трудов международного научного симпозиума технологов-машиностроителей и механиков «Волновые, виброволновые технологии в машиностроении, металлообработке и других отраслей», г. Ростов-на-Дону-2014, – С.344-352.

16 Блехман, И. И., Лавендел, Э. Э., Гончаревич, И. Ф. Поведение сыпучих тел под действием вибраций // Вибрации в технике. – М. : Машиностроение, 1979. – Т. 4. – 78-98 с.

17 Шишкина, А. П. Энергетические аспекты виброобработки деталей косточковыми органическими средами / А. П. Шишкина, В. А. Лебедев, М. М. Чаава // Вестник БГТУ. – №5 (58) – Брянск: БГТУ, 2017. – С.42-49.

18 Шевцов, С. Н. Компьютерное моделирование динамики гранулированных сред в вибрационных технологических машинах / С. Н. Шевцов. – Ростов н/Д : СКНЦ ВШ, 2001. – 194 с.

19 Безъязычный, В. Ф. Метод подобия в технологии машиностроения / В. Ф. Безъязычный. – М. : Машиностроение, 2012. – 317 с.

20 M Tamarkin, E. Tichshenko, Shvedova A.S. Optimization of Dynamic Surface Plastic Deformation in Machining/ Russian Engineering Research, 2018, Vol. 38, №. 9, – pp. 726-727.

### References

1 Babichev, A P *Fundamentals of vibration technology*. Babichev, I. A. Babichev. – 2nd ed., Rev. and add. – Rostov n / a : Publishing Center DSTU, 2008. – 693 p.

2 Butenko V. I. *Finishing surface treatment of parts : methods, devices, tools* / V. I. Butenko. – Rostov-on-Don : Publisher. Center DSTU, 2016. – 219 p.

3 Burshtein I. Ye. and others. *Volumetric vibration processing* / Burshtein I E, Balitskiy V V, Dukhovskiy A F. – М. : Mechanical Engineering, 1981. – 52 p.

4 Babichev A. P. *The use of vibration technologies in the operations of finishing and stripping of parts* / A. P. Babichev, P. D. Motrenko, L. K. Gillespie et al. – Rostov n / a : Publishing Center DSTU, 2010. – 285 p.

5 Koshkin L. N. *Rotor and rotor-conveyor lines*. М. : Mechanical Engineering, 1986. 319 p.

6 Bremen, C. E. Ghosh, S. and Wassgren, C. R. *Vertical oscillation of a bed of granular material*. // J. of Appl. Mech. – 1996 – Vol. 63, №. 1. – P. 156-161.

7 Serga G. V. *Increasing the productivity of technological systems for finishing, stripping and hardening processing of parts based on screw rotors* / G. V. Serga, K. A. Belokur, V. A. Lebedev, D. Ya. Yakovlev // Hardening technologies and coatings. – 2016. – №. 4.

8 Serga G. V. *Technological features of the manufacture of screw rotors for finishing and hardening processing of parts* / G. V. Serga, K. A. Belokur, V. A. Lebedev // Assembly in mechanical engineering, instrument making. – 2016. – №. 4 (189). 8-11 p.

9 Pat. №. 2430825 Russian Federation MPK B24B 31/06. Device for finishing and stripping processing / K. A. Belokur, G. V. Serga. Applicant and patentee of the Federal State Institution of Higher Professional Education "Kuban State Agrarian University". – №. 2009144621/02 ; declared 01.12.2009 ; publ. 10.10.2011, bul. №. 28. Publ. 10.10.2011 Bul. №. 28.

10 Serga G. V. *Investigation of physical phenomena occurring in the contact zone of blanks of bulk materials during their movement in screw drums, methods of similarity theory, engineering and computer graphics* / G V Serga, D G Sery, A. Yu. Marchenko // Bulletin of the Bryansk State Technical University. – Bryansk, BSTU, 2019 – №. 6 (79). – P. 20-29.

11 Serga G. V., Ivanov A. N. *Technology for finishing edges and deburring in screw rotors* // *Technology for finishing precision surfaces and deburring*. Sat. tr. 6th Int. scientific and technical Conf. – St. Petersburg, 2000. – pp. 249-256.

12 Pat. 2228252 Russian Federation, IPC B24B31 / 06. Device for vibration processing of long parts / Babichev A. P., Babichev I. A., Serga G. V. ; applicant and patentee of the Kuban State Agrarian

University. – №. 2002135225/02 ; app. 12/25/2002 ; publ. 05.10.2004, Bul. №. 13. – 3 p. : ill.

13 Pat. 2185947 Russian Federation, IPC B24B31 / 02. Tumbling device / Ivanov A. N., Lyau A. V., Lukin I. N., Serga G. V; applicant and patentee of the Kuban State Agrarian University. – №. 2000116854 ; declared 06.26.2000 ; publ. July 27, 2002, Bul. №. 21. – 3 s.

14 Sekisov A. N., Lebedev V. A., Al-Obaydi Luan Mohammed Rajab, Serga G. V. : 2753360 *Installation for finishing and cleaning of machine parts*. Pat. 13.08.2021. Bul. 23.

15 Serga G. V. *Development of designs of devices with a large amplitude of oscillations for finishing and cleaning of machine parts* / G. V. Serga, V. V. Ivanov, V. A. Lebedev // Proceedings of the international scientific symposium of mechanical engineers and mechanics "Wave, vibration-wave technologies in mechanical engineering, metalworking and other industries", Rostov-on-Don-2014, – P. 344-352.

16 Blekhman, I I, Lavendel, E E, Goncharevich I F *Behavior of bulk bodies under the action of vibrations* // *Vibrations in technology*. – М. : Mechanical Engineering, 1979. – Т. 4. – 78-98 p.

17 Shishkina A. P. *Energy aspects of vibration processing of parts with bone organic media* / A. P. Shishkin, V. A. Lebedev, M. M. Chaava // *Bulletin of BSTU*. – №. 5 (58) – Bryansk : BSTU, 2017. – P.42-49.

18 Shevtsov, S. N. *Computer modeling of the dynamics of granular media in vibration technological machines* / S. N. Shevtsov. – Rostov n / a : SKNTs VSh, 2001. – 194 p.

19 Lebedev, V. A., Krupenya, E. Yu., Shishkina, A. P. Section 7. *Increasing the efficiency of vibration finishing processing of parts based on the use of organic media* // *Progressive engineering technologies, equipment and tools*. Volume VI. Collective monograph. / Ed. A. N. Kirichik. – М : Publishing house "Spectrum", 2015. – S. 268-326.- DOI 10.14489 / 4442-0107-7.20.

20 M Tamarkin, E. Tichshenko, Shvedova A. S. *Optimization of Dynamic Surface Plastic Deformation in Machining* / *Russian Engineering Research*, 2018, Vol. 38, №. 9, – pp. 726-727.

© Лебедев В.А., Коваль Н.С., Аль-Обайди Л.М. Раджаб, 2021