DOI 10.28983/asj.y2021i7pp100-103 УДК.631.2

# СИЛОВОЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ В КОНУСООБРАЗНОМ ШНЕКОВОМ ПРЕССЕ

**ХАВЕРИ Хавер Аламхан,** *Азербайджанский государственный аграрный университет*

***Основные принципы энергетической политики в сельском хозяйстве предусматривают: решение социальных проблем села, устойчивое и надежное топливо- и энергосбережение, экологическую безопасность объектов энергетики и технологий, интенсивное энергосбережение, использование автоматизированных электротехнологий и высококачественного топлива, повышение использования природного газа, электроэнергии, энергии солнца и биомассы, развитие малой энергетики. На основании силового анализа конического шнека получены выражения, позволяющие теоретически определить возможное возникновение максимальногодавления и производительность таких прессах.***

***Ведение.*** Процесс прессования вязких материалов в шнековых прессах связан с рядом геометрических, кинематических параметров и физических величин, которые делают невозможным построение его математической модели. По этой причине не все существующие модели основаны на определенных предположениях, поэтому невозможно учесть все факторы, влияющие на процесс прессования [13, с. 143–145].

Во время прессования условия транспортирования материала из загрузочного бункера и заполнения пространства между винтами шнека под бункером имеют большое влияние на легкую передачу материала в шнековых прессах. Перенос материала также сильно влияет на давление прессования. Хотя производительность пресса увеличивается с увеличением разгрузки, давление прессования снижается, что отрицательно сказывается на качестве продукта [12, с. 435–449].

Увеличение передачи материала в секции загрузки позволяет поддерживать необходимое технологическое давление в секции давления, и в этом случае загрузочное устройство должно обеспечивать необходимое давление с момента поступления материала на вход секции прессования. Таким образом, при оптимизации параметров загрузочной части пресса в первую очередь необходимо определить влияние конструктивных параметров этой установки на перенос материала и возникающее давление. Если емкость загрузочной секции больше, чем мощность прессовой секции, давление в конце загрузочной секции увеличивается, что увеличивает мощность, необходимую для шнекового передатчика [4, с. 70–77].

Основными факторами, влияющими на давление пропорционально силе, действующей вдоль центральной оси пресса, и в то же время на плотность сжатого материала, являются перенос материала, степень конусности шнека и количество оборотов, которое зависит от от скорости вращения передатчика [5, с. 43–49; 6, с. 179–184; 10, с. 51–56; 11, с. 73–78; 15, с. 10–18].

Когда давление, оказываемое шнеком на материал, стабилизируется, увеличение количества ходов шнека и расстояния между винтами приводит к увеличению требуемого крутящего момента, что, в свою очередь, увеличивает потребление энергии. Для получения необходимого давления в конце участка загрузки перенос продукта шнеком в зону загрузки не должен превышать общий перенос продукта пресса [6, с. 179–184].

Детерминированные математические модели или формальные статистические регрессионные модели, основанные на законах механики единой среды, обычно используются для описания движения прессуемого материала [1, с. 8–15; 3, с. 141–148].

В Красноярском государственном аграрном университете РФ проведено исследование, посвященное изучению факторов, влияющих на производительность и качество прессов при прессовании жома сахарной свеклы, предложена формула для расчета логарифмического спирального движения зеленой массы в шнековом прессе. [14, с. 305–311]:

$$\rho = \rho_0 e^{\alpha\theta}, \qquad (1)$$

где $\rho_0$ –полярный угол $\theta = 0$ при расстоянии между объектом на диске и центральной осью, мм; $\alpha$ – некоторая постоянная величина, зависящая от начальных условий и угловой скорости шнека.

По мере того, как материал движется вдоль шнекового пресса, происходит сжатие частиц материала, которые затем стремятся непрерывно перемещаться как неразрывная среда. Движение материала происходит в результате действия сил трения, действующих на массу шнеком и корпусом [7, с. 58–61; 8, стр. 48–49].

Основной задачей, поставленной в данной работе, является проведение теоретического анализа для определения наиболее высокого давление и производительности, которые могут создавать прессы с конусообразным шнуром.

***Методика исследований.*** Анализ сил, возникающих при движении материала в канале пресса, проводится в предположении, что сжатая масса не имеет адгезивно-пластических деформаций, образующих «адгезионно-пластичную» массу. В этом случае корпус шнека устойчив, а сам шнек вращается, не перемещаясь по центральной оси, при этом не учитывается влияние грави-тационных и центробежных сил, так как они незначительны по сравнению с силами, создаваемыми

при сжатии из-за давления [2, с. 47–54].

***Результаты исследований.*** Шнековые прессы разделены на три секции – прессы для перекачки продукта, первичного сжатия и прессования. В секции сжатия на «адгезионно-пластическую» массу элементарной длины *l*, м, сначала действует *p*-давление, а затем *p* + *dp*. Поскольку масса «жидкость–пластическая» и давления *p* + *d* действуют в противоположных направлениях с обеих сторон, то фактически при наличии внутреннего давления *p* под действием давления *dp* на эту массу действует внешняя сила *dP* по направлению оси зазоров шнеков шнеков [9, с. 43–45; 10, с. 51–56]:

$$dP = dpS\ , \qquad (2)$$

где $S$ – площадь зазора шнека по сечению центральной оси шнека, м$^2$ .

$$S = h\left(s - \frac{L_b}{\cos\alpha}\right), \qquad (3)$$

где $h$ – расстояние между центром межшнекового поля шнека и точкой соприкосновения конуса с корпусом, м; $\alpha$ –угол подъема винтовой линии шнека,° ; $s$ – длина межшнекового расстояния между винтами, м;$L_b$ –толщина винта шнека, *м*.

$$h = 0{,}5\left[D - d_v - 2\left(s - s\tan\gamma\frac{\varphi_1}{2\pi}\right)\right], \qquad (4)$$

где $D$ –внутренний диаметр корпуса, м; $d_v$ –конусообразный вал с переменным диаметром между винтами, м; $\varphi_1$ –угол расположения точки соприкосновения конуса с центром межшнековой площади шнека по началу конусообразного вала, °; $0 < \varphi_1 > \varphi_2$ ;$\gamma$ –половина угла на вершине конусообразного вала, ° .

$$\varphi_2 = \frac{L}{s}\cdot 2\pi\ , \qquad (5)$$

где $L$ – длина конусообразного шнека,м.

$$\gamma = \arctan\left(\frac{d_k - d_v}{2L}\right), \qquad (6)$$

где $d_k$ –самый большой диаметр конусообразного шнека.

При этом направление влияния разности давлений элементарной площади «гипсокартонной» массы в плоскости, перпендикулярной саморезам, выглядит следующим образом:

$$dP = dp\cos\alpha\, h\left(s - \frac{L_b}{\cos\alpha}\right)\cdot\cos\frac{\psi}{2} = \\ = dp\frac{D - d_v}{2(s\cos\alpha - L_b)}\cdot\cos\frac{\psi}{2}, \qquad (7)$$

где $\psi$ – угол подъема конусообразной поверхности вала по винтовому каналу,° .

$$\psi = \frac{\arcsin((D - 2\cdot c)\cdot\tan\alpha)}{\sqrt{[(D-2\cdot c)\cdot\tan\alpha]^2 + \pi^2\cdot\left[d_\upsilon + (D-2\cdot c)\cdot\left(\frac{\varphi_2}{2\pi}+1\right)\cdot\tan\alpha\cdot\tan\gamma\right]^2}}, \qquad (8)$$

где $c$ – промежуточные зазоры, имеющиеся между краями корпуса и корпуса шнека, м.

От воздействия внутреннего давления возникает нормальная сила, действующая на стенки шнека и корпуса:

$$N_ş = pl(2h + V), \qquad (9)$$

$$N_k = plV\ , \qquad (10)$$

где $V$ – ширина канала винта, *м* .

Эта нормальная сила ($N_ş$), действующая на стенки шнека,представляет собой сумму трех нормальных сил, возникающих при воздействии винта шнека на две боковые стенки ($N_ş^{'}, N_ş^{''}$) и вал шнека ($N_ş^{r}$) (см. рисунок). Действие этих сил, $N_ş$ и $N_k$, обусловливается образованием сил трения, направленных на стенки канала $S_ş$ и корпуса $S_k$ «штукатурно-пластической» массы. Сила трения ($S_ş$), создаваемая на шнеке, направлена по длине канала винта, в то время как направление скорости материала по длине канала винта направлено к самтину. В то время как сила трения ($S_k$), создаваемая на корпусе, направлена по всей длине корпуса в направлении, противоположном направлению скорости материала по всей длине корпуса.

Силы, действующие вдоль движущихся осей, направленные по ширине и длине шнекового винта, организованы по следующей системе:

$$\sum\bar{X} = 0;\ \bar{N}_ş^{'} + \bar{N}_ş^{''} + \bar{F}_{S_k} + \bar{F}_x = 0;$$

$$F_x = N_ş^{'} - N_ş^{''} + F_{S_k}\cdot\sin\emptyset;$$

$$\sum\bar{Y} = 0;\ \bar{N}_ş^{''} + \bar{N}_k + \bar{F}_y = 0;$$

$$F_y = N_ş^{''} - N_k;$$

$$\sum\bar{Z} = 0;\ \bar{F}_{S_k} + \bar{F}_{S_ş} + d\bar{P} + \bar{F}_z = 0;$$

$$F_z = F_{S_k}\cos\emptyset - \left(F_{S_ş} + dP\right). \qquad (11)$$

В этом случае, после нахождения соответствующих осей, можно выразить силу, действующую на радиальное сечение материала в элементарном поле, по формуле:

$$F_y = f_ş p\frac{D}{2}(s\cos\alpha - L_b)\cdot\sin\psi d\varphi, \qquad (12)$$

где $f_ş$ – коэффициент трения материала о шнек.

Силу, действующую на материал в элементарном поле по ширине саморезов, можно выразить следующей формулой:

$$F_x = f_k p\frac{D}{2}\cdot[\pi(D - 2c)\cdot\sin\alpha - L_b]\times \\ \times\sin\psi d\varphi, \qquad (13)$$

где $f_k$ – коэффициент трения материала о корпус.

Силу, действующую на материал в элементарном поле на поверхность винтов по высоте, мож-

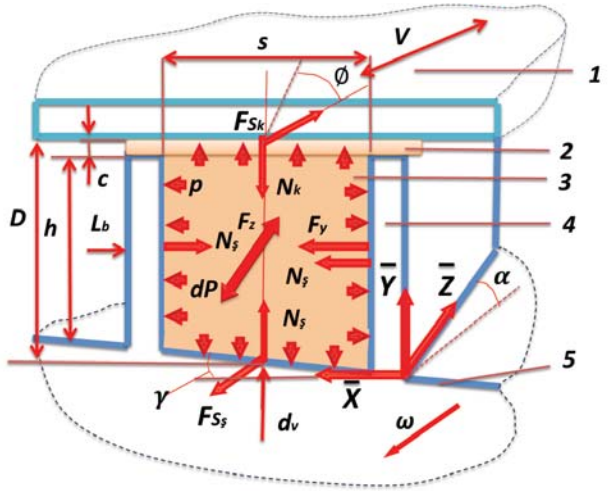


***Схема действия сил в межплиточном пространстве шнека:***
***1–корпус шнека; 2–слой прессуемого материала вдоль корпуса шнека; 3–материал, прессуемый в межшнековом пространстве; 4–винт шнека; 5 – конусообразный вал***

но выразить следующей формулой:

$$F_z = pd\varphi\frac{D}{2}\left\{f_k[\pi(D-2c)\cdot\sin\alpha - L_b]\cdot\cos\varnothing - f_ş\left[\frac{\pi(D-2\cdot c)\cdot\sin\alpha - L_b}{\cos\gamma} + D - d_v\right]\right\} - dp\frac{D-d_v}{2}[\pi(D-2c)\cdot\sin\alpha - L_b]\cos\frac{\psi}{2}. \quad (14)$$

В элементарном поле уровень увеличения давления выражается следующим образом, в то время как сила, действующая на поверхность винтов материала вдоль поверхности, равна $F_{z1} = 0$ :

$$dp = (2pd\varphi\frac{D}{2}\cdot\{f_k[\pi(D-2c)\times \times\sin\alpha - L_b]\cdot\cos\varphi - -f_ş\left[\frac{\pi(D-2c)\sin\alpha - L_b}{\cos\gamma} + D - d_v\right]\})/ /\left((D-d_v)\cdot[\pi(D-2c)\times \times\sin\alpha - L_b]\cdot\cos\frac{\psi}{2}\right). \quad (15)$$

Или же

$$(\pi(D-2c)\cdot\sin\alpha - L_b)\cdot\frac{dp}{p} = = D\{f]_k[\pi(D-2c)\cdot\sin\alpha - L_b]\cdot\cos\varphi - -f_ş\left[\frac{\pi(D-2c)\cdot\sin\alpha - L_b}{\cos\gamma} + D - d_v\right]\})/ /\left((D-d_v)\cdot\cos\frac{\psi}{2}\right)\cdot d\varphi. \quad (16)$$

Полученное давление равно интегралам правой и левой части этого выражения.

Интеграл левой части выражения выражается элементарными функциями:

$$(\pi(D-2c)\cdot\sin\alpha - L_b)\cdot\ln|p|\cdot \quad (17)$$

Интеграл правой части выражения выражается численными методами в определенных пределах, так как выражение с элементарными функциями невозможно:

$$\int_{\varphi_1}^{\varphi_2}\frac{D\left\{f_k[\pi(D-2c)\cdot\sin\alpha - L_b]\cdot\cos\varnothing - f_ş\left[\frac{\pi(D-2c)\cdot\sin\alpha - L_b}{\cos\gamma} + D - d_v\right]\right\}}{(D-d_v)\cdot\cos\frac{\psi}{2}}d\varphi, \quad (18)$$

где $\varphi_1$, $\varphi_2$ –угол, совпадающий с началом и концом конусности вала шнека,°.

Упомянутый интеграл приблизительно равен $\dot{\varphi_i} \in [\varphi_{i-1}; \varphi_i]$ в диапазоне углов:

$$\sum_i^N\frac{D\left\{f_k[\pi(D-2c)\cdot\sin\alpha - L_b]\cos\varnothing - f_ş\left[\frac{\pi(D-2c)\cdot\sin\alpha - L_b}{\cos\gamma} + D - d_v\right]\right\}}{(D-d_v)\cdot\cos\frac{\psi}{2}}\Delta\varphi_i. \quad (19)$$

В то же время конусообразный вал является функцией угла $\varphi_i$ с переменным диаметром $d_v$, $\varphi_i$ между винтами $d_v(\varphi_i')$ и, следовательно, так как угловые расстояния равны:

$$[\varphi_1; \varphi_2] = [\varphi_{i=1}; \varphi_{i=N}], \quad (20)$$

наибольшее давление, создаваемое конусообразным стержнем шнека, выражается следующим образом:

$$p = p_{\varphi_1}\exp\sum_i^N\times \times\frac{D\left\{f_k[\pi(D-2c)\cdot\sin\alpha - L_b]\cdot\cos\varnothing - f_ş\left[\frac{\pi(D-2c)\cdot\sin\alpha - L_b}{\cos\gamma} + D - d_v\right]\right\}}{(\pi(D-2c)\cdot\sin\alpha - L_b)\cdot(D-d_v)\cdot\cos\frac{\psi}{2}}\Delta\varphi_i, \quad (21)$$

где $p_{\varphi_1}$ –давление, совпадающее с начальным сечением конусности вала шнека($\varphi_1$), Па.

В случае, когда в шнеке имеется материальный поток (подача, проходящая через внутреннюю рабочую область шнека), возникающее давление уменьшается, что приводит к увеличению силы $F_{z1}$, создаваемой вдоль центральной оси, что обеспечивает перемещение материала вдоль граней винтов шнека.

В том случае, если материал в элементарном поле имеет импульс, равный отношению силы, создаваемой вдоль центральной оси, к массе материала в элементарном поле $F_{z1}$:

$$a_{z_i} = \frac{F_{z1_i}}{m_i}, \quad (22)$$

где $m_i$ – $i$-масса материала в элементарном поле, кг.

$$m_i = \frac{V_{k_i}}{\rho_i}, \quad (23)$$

где $\rho_i$ –плотность в элементарной области материалов – шнека, кг/м³; $V_{k_i}$ – объем внутреннего пространства в $i$-элементарном пространстве шнека, м³.

Принимая во внимание, что объем внутреннего пространства шнека в элементарном поле выражается следующим образом:

$$V_k = \pi\frac{D^2 - d_v^2}{8\sin\alpha}\cdot Vd\varphi = = \pi\frac{D^2 - \left(d_v + s\left(\frac{\varphi_2}{2\pi} + 0{,}5\right)\cdot\tan\gamma\right)^2}{8\sin\alpha}\cdot Vd\varphi. \quad (24)$$

В этом случае срочность, которая влияет на материал в элементарном поле конусообразного шнека, можно выразить по формуле:

$$a_{z_i} = (p_i d\varphi \frac{D}{2} \cdot \{f_k[\pi(D-2c) \times \times \sin\alpha - L_b] \cdot \cos\emptyset - -f_ş[\frac{\pi(D-2c)\cdot\sin\alpha - L_b}{\cos\gamma} + D - d_{v_i}]\} - -dp_i \frac{D-d_{v_i}}{2}[\pi(D-2c) \times \times \sin\alpha - L_b] \cdot \cos\frac{\psi}{2})/(\rho_i V_{k_i}). \quad (25)$$

При интегрировании импульсов через существующие элементарные поля по всей длине шнека определяется скорость материала в конце шнека, $\frac{м}{с}$:

$$v = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} a_z dt, \quad (26)$$

и на основании этого определяется производительность шнекового пресса, кг/ч:

$$Q = Sv\psi\rho = (D - d_{v_{max}}) \cdot V \cos\alpha v\psi\rho. \quad (27)$$

***Заключение.*** Полученные в результате проведенного теоретического анализа утверждения позволяют определить наиболее высокое давление и производительность, которые могут создавать прессы с конусообразным шнуром.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


1. *Апачанов А.С.* Процессы движения формуемой массы в винтовом канале шнекового пресса: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Белгород, 2010. – С. 8–15.

2. *Денисов С.В.* Повышение эффективности приготовления кормосмеси на основе стебельчатого корма и обоснование параметров пресс-экструдера: дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2006. – С. 47–54.

3. *Завальнюк И.П.* Управление высокопроизводительной экструзией неоднородных материалов // Современные технические средства, комплексы и системы. – Херсон, 2010. – С. 141–148.

4. Научное обеспечение актуального направления в развитии пищевой термопластической экструзии / А.А.Курочкин [и др.]. – Прага: Vedeckovydavatelskecentrum «Sociosfera-CZ», 2015.– 185 с.

5. *Новиков В.В., Орсик И.Л., Успенская И.В.* Определение производительности пресс-экструдера с коническимнаправителем // Эксплуатация автотракторной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы: сб. статей II Междунар.

6. *Новиков В.В., Ермолаева Д.Р., Коновалов В.В.* Обоснование направления совершенствования зоны загрузки устройства прессования материала // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии: научно-теоретический журнал. –2016. – №3 (35). – С. 179–184. науч.-практ. конф. – Пенза: РИО ПГСХА, 2015. – С. 43–49.

7. *Новиков В.В., Успенский В.В., Беляев Д.В.* Обоснование потребной подачи дозатора пресс-экструдера // Нива Поволжья. – 2009. – № 2. – С. 58–61.

8. *Новиков В.В., Беляев Д.В., Мишанин А.Л.* Обоснование потребной производительности отдельных участков шнекового пресса // Вестник СГАУ им. Н. И. Вавилова. – 2007. – № 4. – С. 48–49.

9. Определение поправочных коэффициентов подачи вертикального шнека / В.В. Коновалов [и др.] // Вестник СГАУ им. Н. И. Вавилова. – 2007. – № 3. – С. 43–45.

10. Определение подачи цилиндрического шнекового пресса / В.В. Коновалов [и др.] // Нива Поволжья. – 2010. – № 2. – С. 51–56.

11. *Орсик И.Л.* О влиянии конусности направителя на продвижение смеси в прессэкструдере // Нива Поволжья. –2014. – № 3(32). – С. 73–78.

12. *Раувендааль К.* Экструзия полимеров / пер. с англ.; под ред. А.Я. Малкина. – СПб.: Профессия, 2008. – 768 с.

13. *Холодилин А.Н., Панов Е.И.* К определению основных параметров шнекового пресса. Наука и образование в жизни современного общества: сб. науч. трудов по материалам Междунар. науч-практ.конф., 29 ноября 2013 г. Ч. 14. – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2013.– С. 143–145.

14. Цугленок Н.В., Матюшев В.В., Цугленок Г.И. Повышение энергетической эффективности использования технических средств отжатия зеленого сока растений за счет конструктивного совершенствования системы питания // Вестник КрасГАУ. – 2012. – №5. – С. 305–311.

15. Althaus T.O., Windhab E.J. Extrusion of highly unsaturated wet powders:Stress fields in extruder barrels // Powder Technology. 2011. Vol. 211, Is. 1. p. 10-18.



**Хавери Хавер Алимхан,** *докторант, Азербайджанский государственный аграрный университет.*

*Az2000, Азербайджанская Республика, г. Гянджа, просп. Ататюрка, 235.*

*Тел.: (+994) 518663977.*



***Ключевые слова:*** *конический шнек; пресс; давление; сила; производительность; плотность; процесс прессования.*


**POWER ANALYSIS OF THE PRESSING PROCESS IN A CONE-SHAPED SCREW PRESS**


**Khaveri Khaver Alimkhan,** *Doctoral Student, Azerbaijan State Agrarian University.Azerbaijan*



**Keywords:** *conical screw; press; pressure; force; productivity; density; pressing process.*



***The basic principles of energy policy in agriculture include: solution of social problems of the village, stable and reliable fuel–and energy-saving, environmental safety of energy facilities and technologies, intense energy, the use of automated technology and high-quality fuel, increasing use of natural gas, electricity, solar energy and biomass,the development of small power. Based on the force analysis of the conical screw, expressions are obtained that allow us to theoretically determine the possible occurrence of maximum pressure and the performance of such presses.***