

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.12737/article_59a93b0a7e3265.22687906

Апачанов А.С., канд. техн. наук,
Евстратов В.А., д-р техн. наук, проф.
Южно-Российский государственный политехнический университет
(НПИ) им. М. И. Платова

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ ШНЕКОВОЙ ЛОПАСТИ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ВИНТОВОГО ПРЕССА*

aasprof@yandex.ru

Высокие темпы современного жилищного, гражданского и промышленного строительства должны обеспечиваться соответствующими темпами роста производства строительных материалов, вообще, и керамического кирпича, в частности. В последние годы после спада объемов выпуска керамического кирпича начал проявляться повышенный интерес к нему со стороны архитекторов, строителей и других потребителей. Этот интерес продиктован, прежде всего, уникальными свойствами керамического кирпича: прочностью, низкой теплопроводностью, архитектурным изяществом, экологической чистотой. Вопрос роста объемов производства и улучшения качества выпускаемых изделий при одновременном снижении энергозатрат стал особенно актуальным в настоящее время. Особое место в ряду машин и оборудования для производства керамического кирпича занимает прессовое оборудование, в частности - шнековый вакуумный пресс (далее пресс).

Ключевые слова: шнековый пресс, шнековый вал, образующая лопасти шнекового вала, коэффициент подачи шнека.

Введение. Несмотря на то, что вопросам исследования, разработки и проектирования прессов посвящается большая часть работ по глиноперерабатывающим машинам [1, 2, 3, 4], их конструкции остаются весьма консервативными, и каждый раз дают повод для очередных исследований и попыток их дальнейшего совершенствования. Если учесть, что на шнековых прессах во всем мире формируется 90–95 % керамического кирпича, то эти попытки являются вполне оправданными.

Методология. Обоснованность выводов и рекомендаций основываются на применении комплекса современных апробированных методов исследований, включая: анализ и научное обобщение выполненных к настоящему времени работ по рассматриваемому вопросу; методы сопротивления материалов, теоретической механики, теории упругости.

Основная часть. Производительность шнековых прессов [5] для формования глиняного

кирпича определяется как произведение площади сечения шнека на проекцию скорости материала на ось шнека (рис.1)

$$Q = \pi(R^2 - r^2)v_x. \quad (1)$$

Максимально возможная (теоретическая) производительность будет иметь место, если абсолютная скорость движения материала будет направлена вдоль оси шнека

$$Q_{теор.} = \pi(R^2 - r^2)v_{теор.}, \quad (2)$$

где $v_{теор.} = \omega_0 R \operatorname{tg} \alpha$ – максимально возможная (теоретическая) скорость движения формуемой массы.

Отношение фактической производительности Q к теоретической $Q_{теор.}$ характеризует эффективность работы пресса и называется коэффициентом подачи шнека [6]

$$k_\beta = \frac{Q}{Q_{теор.}} = \frac{v_x}{v_{теор.}} = \frac{\cos \alpha \cos \beta}{\cos(\beta - \alpha)} = \frac{1}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}. \quad (3)$$

где β – угол между направлением движения формуемой массы и осью шнека (рис.1).

Тогда

$$Q = k_\beta Q_{теор.} = \frac{Q_{теор.}}{1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta} \quad (4)$$

В шнековых прессах пластического формования угол отклонения движения глиняной

массы от оси шнека составляет 75–80 градусов [7], вследствие чего коэффициент подачи шнека низок $k_{\beta} = 0,33 \div 0,42$.

Применение различных конструкторских решений [8, 9, 10], направленных на увеличение трения глиняной массы о внутреннюю поверхность

корпуса шнекового пресса или уменьшение трения глины о шнек, может значительно повысить производительность пресса. Сила трения глиняной массы о внутреннюю поверхность корпуса шнекового пресса зависит от коэффициента трения глины об эту поверхность и от силы нормального давления.

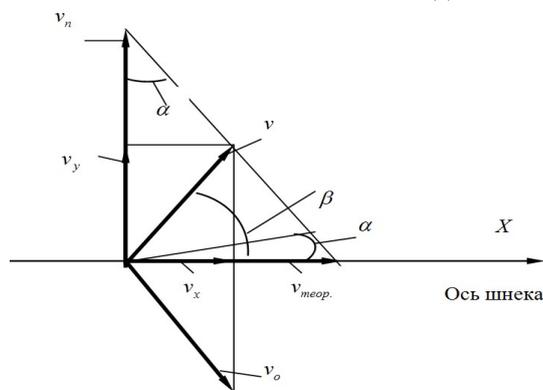


Рис. 1. План скоростей

Увеличить силу нормального давления формуемой массы на внутреннюю поверхность корпуса пресса можно, изменив геометрию шнековой лопасти [11, 12] таким образом, чтобы образующие лопасти были направлены не по нормали

к оси шнека, а имели наклон в сторону, противоположную направлению движения материала, от оси шнека к периферии, т.е. располагались под углом θ к нормали оси шнека (рис. 2).

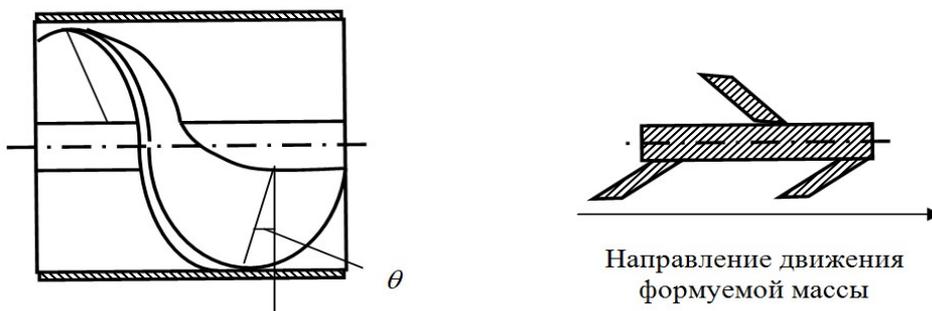


Рис. 2. Шнековый вал, образующие лопасти которого расположены под углом к нормали оси вала

Рассмотрим равновесие элементарного объема материала, вырезанного из канала, образованного внутренней поверхностью корпуса пресса, валом и лопастью шнека (рис. 3). На элементарный объем материала действуют те же

силы, что и в шнеке с лопастью, образующие которой направлены по нормали к оси шнека [13, 14, 15] и имеющие следующие значения.

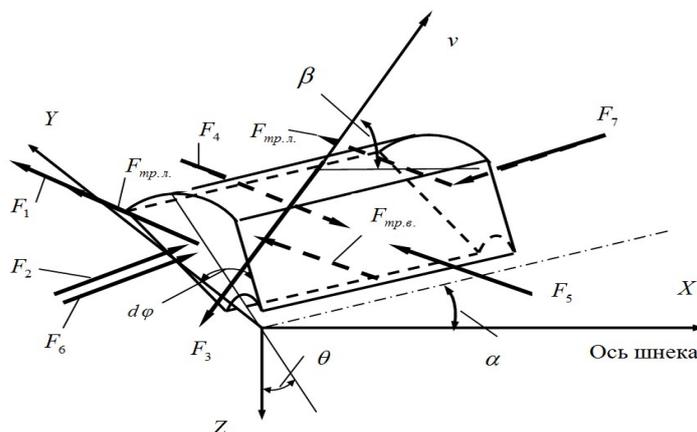


Рис. 3. Схема сил, действующих на элементарный объем материала в шнековом канале пресса

Разность сил противодействия и подпора

$$F_5 - F_4 = \Delta P(R-r)2\pi Rtg\alpha. \quad (5)$$

Сила трения материала о внутреннюю цилиндрическую поверхность корпуса шнекового пресса

$$F_3 = \frac{2\pi R^2 d\varphi tg\alpha \mu Pf_u}{1 - f_u \cos(\beta - \alpha)tg\theta}. \quad (6)$$

Сила нормального давления на лопасть шнека от силы F_3

$$F_2 = \frac{2\pi R^2 d\varphi tg\alpha \mu Pf_u \cos(\beta - \alpha)}{[1 - f_u \cos(\beta - \alpha)tg\theta] \cos\theta}. \quad (7)$$

Составляющая силы трения материала о лопасть шнека от действия силы F_3 ;

$$F_{mpl} = \frac{2\pi R^2 d\varphi tg\alpha \mu Pf_u f_{u1} \cos(\beta - \alpha)}{[1 - f_u \cos(\beta - \alpha)tg\theta] \cos\theta}. \quad (8)$$

$F_{mp2} = F_{mp.в} + 2F_{mp.л}$ – составляющая силы трения материала о шнек от давления P .

Сила трения материала о лопасть шнека от давления P

$$F_{mp.л} = \mu Pf_u (R^2 - r^2) d\varphi / (2 \cos\alpha \cos\theta). \quad (9)$$

Сила трения материала о вал шнека;

$$F_{mp.в} = 2\pi Rrd \varphi tg\alpha \mu Pf_u \quad (10)$$

Условие равновесия элементарного объема материала относительно оси шнека после подстановок значений сил и моментов имеет вид:

$$\begin{aligned} \sum X_i = 0; \\ -R(R-r) \frac{dP}{\mu} \sin\alpha - \frac{Pf_u f_u R^2 \sin\alpha \cos(\beta - \alpha) d\varphi}{[1 - f_u \cos(\beta - \alpha)tg\theta] \cos\theta} + \\ \frac{Pf_u R^2 \cos\alpha \cos(\beta - \alpha) d\varphi}{1 - f_u \cos(\beta - \alpha)tg\theta} - Pf_u Rr \sin\alpha d\varphi - \frac{Pf_u (R^2 - r^2) d\varphi}{\pi \cos\theta} - \frac{Pf_u R^2 \cos\beta d\varphi}{1 - f_u \cos(\beta - \alpha)tg\theta} = 0; \end{aligned} \quad (11)$$

Проинтегрировав (11) по $d\varphi$ в интервале от 0 до $2\pi n$, где n – число витков шнека, имеем

$$\begin{aligned} -\frac{R(R-r)}{\mu} \sin\alpha \ln \left| \frac{P_0 + 2\pi na}{P_0} \right| - \frac{2\pi f_u f_u R^2 \sin\alpha \cos(\beta - \alpha)}{[1 - f_u \cos(\beta - \alpha)tg\theta] \cos\theta} + \\ \frac{2\pi f_u R^2 \cos\alpha \cos(\beta - \alpha)}{1 - f_u \cos(\beta - \alpha)tg\theta} - 2\pi f_u Rr \sin\alpha - \frac{2\pi f_u (R^2 - r^2)}{\cos\theta} - \frac{2\pi f_u R^2 \cos\beta}{1 - f_u \cos(\beta - \alpha)tg\theta} = 0; \end{aligned} \quad (12)$$

Решение уравнения (12) с применением вычислительной техники позволяет определить влияние угла наклона образующих шнековой лопасти на направление движения формуемой

массы, а, следовательно, и на производительность шнекового пресса.

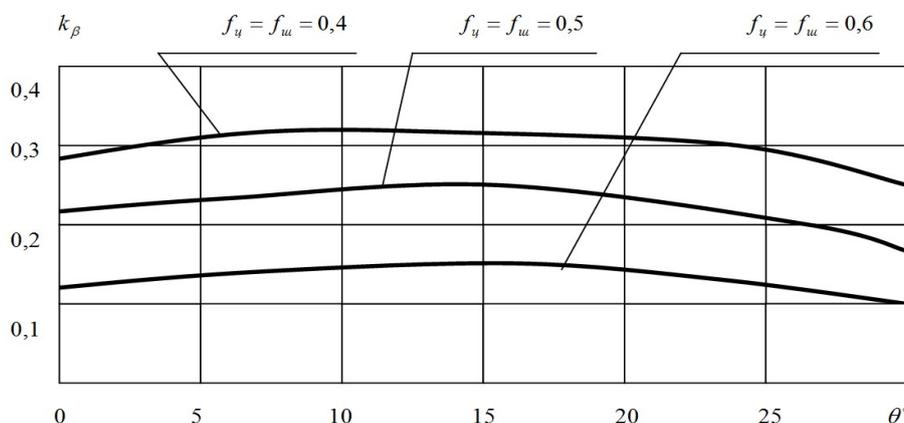


Рис. 4. Зависимость коэффициента подачи шнека от угла наклона образующих шнековой лопасти

На рис.4 представлена зависимость коэффициента подачи шнека $k_{\beta} = \frac{Q_{факт}}{Q_{теор}} = \frac{1}{1 + tg\alpha tg\beta}$, ха-

рактеризующего эффективность работы шнекового пресса, от угла наклона образующих лопасти шнека при различных значениях коэффициента трения формуемой массы о металл шнека и корпуса пресса и следующих значениях геометрических параметров рабочих органов пресса: радиус лопасти шнека $R = 0,2 м$; радиус вала шнека $r = 0,05 м$; угол подъема винтовой линии шнека $\alpha = 20^{\circ}$.

Выводы. Количественные результаты показывают, что производительность шнекового пресса с лопастью, имеющей наклон от оси шнека к периферии, выше, чем у пресса с лопастью, образующие которой направлены по нормали к оси шнекового вала, на 10 – 30 % при подаче пластичных глиняных масс за счет увеличения поступательной составляющей движения формуемой массы в направлении продольной оси шнека. Анализ полученных результатов показывает, что рациональное значение угла наклона образующих шнековой лопасти зависит от свойств формуемой массы и составляет $10 \div 20^{\circ}$.

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16-38-00287 мол_а.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Герасимов М.Д. Теоретические и технические основы совершенствования шнековых прессов для формования керамических строительных материалов. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 160 с.
2. Бауман В.А. Клушанцев Б.В., Мартынов В.Д. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. 2-е изд., перераб. М.: Машиностроение, 1981. 324 с.
3. Чаус К.В. Чистов Ю.Д., Лабзина Ю.В. Технология производства строительных материалов, изделий и конструкций: Учеб. для вузов. М.: Стройиздат, 1988. 448 с.
4. Евстратова Н.Н. Самоочищающийся ленточный шнековый пресс // А.с. 1201168 СССР, МКИ В 30 В (14.-373 5 903/25-27; Заявл. 08.05.84; Опубл. 30.12.85. Бюл.№48. 1985.
5. Arachanov A.S., Rud A.V., Belousov K.Y. Modeling of the Motion Clay Mass in the Screw Channel of the Screw Press // Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. Pp. 906–910
6. Силенок С.Г., Борщевский А.А., Горбовец М.Н. и др. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. М.: Машиностроение, 1990. 388 с.
7. Борщевский А.А., Ильин А.С. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий. М.: Высшая школа, 1987. 376 с.
8. Апачанов А.С., Григорьев В.И., Евстратова Н.Н. Влияние формы внутренней поверхности корпуса шнекового пресса на направление движения формуемой массы глины // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Випуск 14(127), серія гірничо-електромеханічна. Донецьк ДВНЗ «ДонНТУ», 2007. С. 128–132.
9. Григорьев В.И., Белоусов К.Ю. Проектирование функциональных модулей шнековых прессов робототехнических комплексов // Вестник Саратовского государственного технического университета: 2013. №2(71). Выпуск 2. С. 239–244.
10. Богданов В.С., Федоров Г.Д. Технологические комплексы предприятий промышленности строительных материалов. Учебник для студентов вузов по специальности «Механическое оборудование и технологические комплексы предприятий промышленности строительных материалов». Белгород, «Везелица», 2007. 446 с.
11. Апачанов А.С., Усолкина А.Р., Носачев Н.И. Моделирование процесса движения глиняной массы в винтовом канале пресса и оптимизация параметров рабочих органов шнековых прессов // Перспектива – 2017: материалы Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Т. III. Нальчик: Каб.-Балк. ун-т., 2017. С. 11–18.
12. Евстратова Н.Н., Загороднюк В.Т. Оптимизация геометрических параметров рабочих органов шнекового питателя // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 1999. № 2. С. 109–111.
13. Туренко А.В. Расчет глиноперерабатывающего оборудования и прессов пластического формования для производства керамических строительных изделий. М.: МИСИ, 1985. 86 с.
14. Евстратова Н.Н., Линник Ю.Н., Юрченко В.И. Закономерности движения пластичного материала в шнековом канале винтового пресса // Современные технологии в машиностроении - 2003: Сб. статей VI Всерос. науч. - практич. конф. 26-27 февраля 2003 г. Пенза, 2003. С. 216–219.
15. Евстратова Н.Н., Юрченко В.И. Расчет и проектирование шнековых прессов для формования глиняного кирпича. Новочеркасск. ЮРГТУ (НПИ) 2007 102 с.

Apachanov A.S., Evstratov V.A.**INFLUENCE OF THE SCREW GEOMETRY ON THE PRODUCTION OF SCREW PRESS**

High rates of modern housing, civil and industrial construction should be ensured by the corresponding rates of growth in the production of building materials, in general, and ceramic bricks in particular. In recent years, after the decline in the output of ceramic bricks, there has been a growing interest in it from architects, builders and other consumers. This interest is dictated, first of all, by the unique properties of ceramic bricks: strength, low thermal conductivity, architectural elegance, ecological purity. The issue of increasing production volumes and improving the quality of manufactured products while reducing energy costs has become especially relevant at the present time. A special place in the row of machinery and equipment for the production of ceramic bricks is press equipment, in particular, a screw vacuum press (hereinafter press).

Keywords: *a screw press, the screw shaft, forming the blade of the screw shaft, the screw feed ratio.*

Апачанов Антон Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры Сервис и эксплуатация инженерной инфраструктуры в сфере ЖКХ.

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова.

Адрес: Россия, 346500, Шахты, пл. Ленина, 1.

E-mail: aasprof@yandex.ru

Евстратов Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры Фундаментальные инженерные дисциплины.

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова.

Адрес: Россия, 346500, Шахты, пл. Ленина, 1.

E-mail: vae602@yandex.ru