

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

4.3.1. Технологии, машины и оборудование  
для агропромышленного комплекса

Научная статья  
УДК 631.812.12  
doi: 10.28983/asj.y2025i4pp100-104

**Определение мощности и производительности  
комбинированного пресс-экструдера**

**Александр Сергеевич Берёзкин**

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова,  
г. Саратов, Россия

e-mail: berethkin@yandex.ru

**Аннотация.** В статье представлены теоретические зависимости, определяющие мощность и производительность комбинированного пресс-экструдера. Полученные теоретические исследования позволяют рассчитать производительность комбинированного пресс-экструдера и полезную мощность, затрачиваемую на привод шнека, на основании его геометрических параметров и физико-механических свойств перерабатываемого сырья и могут быть использованы при проектировании экструдеров схожей конструкции для применения в других областях производства.

**Ключевые слова:** шнек, измельчение, производительность, мощность, угол наклона, экструзия

**Для цитирования:** Берёзкин А. С. Определение мощности и производительности комбинированного пресс-экструдера // Аграрный научный журнал. 2025. № 4. С. 100–104. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2025i4pp100-104>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

**Determination of the power and productivity  
of the combined extruder**

**Alexander S. Berezkin**

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia

e-mail: berethkin@yandex.ru

**Abstract.** The paper presents the theoretical dependencies that determine the power and productivity of a combined extruder. The theoretical studies obtained make it possible to calculate the performance of a combined extruder and the useful power spent on driving the screw based on its geometric parameters and the physical and mechanical properties of the processed raw materials and can be used in the design of extruders of similar design for use in other areas of production.

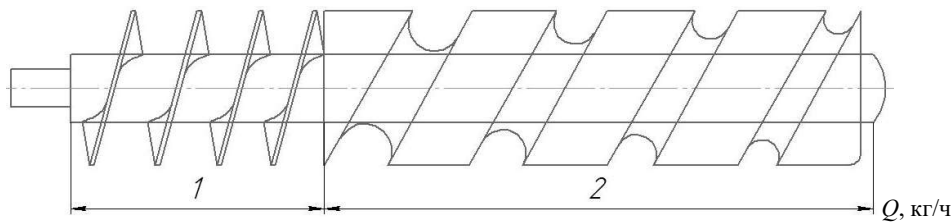
**Keywords:** screw, grinding, productivity, power, tilt angle, extrusion

**For citation:** Berezkin A. S. Determination of the power and productivity of the combined extruder. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2025;(4):100–104. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2025i4pp100-104>.

**Введение.** Энергоемкость процесса прессования в той или иной степени зависит от конструктивных параметров шнека, величины давления в его канале, физико-механических свойств перерабатываемого материала, а также скоростного режима движения материала в канале шнека [6]. Одним из основных критериев определения оптимального скоростного режима является производительность экструдера. Количественной же характеристикой энергоемкости процесса экструдирования является мощность, затрачиваемая на данный процесс.

**Материалы и методы.** Предлагаемый шнек состоит из двух зон, транспортирующей 1 и прессующей 2 (рисунок 1). Для снижения энергоемкости процесса экструдирования и увеличения производительности шаг навивки и угол наклона винтовой линии шнека изменяются [11].





**Рисунок 1 – Схема шнека пресс-экструдера:**  
 1 – зона загрузки и транспортировки; 2 – зона прессования

**Figure 1 – Screw diagram of the extruder:**  
 1 – loading and transportation zone; 2 – pressing zone

Для предложенной нами конструкции шнека с убывающим объемом межвиткового пространства [11] производительность  $Q$ , кг/ч, определяется по формуле [2]

$$Q = \pi z (R_{2к}^2 - R_{1к}^2) \left( S_k - \frac{z(b_2 + b_1)}{2 \cos \alpha_k} \right) \omega 60 \frac{\rho_2}{1000} K_v K_n K_p K_c, \quad (1)$$

где  $z$  – число заходов лопасти шнека;  $R_{1к}$  и  $R_{2к}$  – наружный и внутренний средние радиусы последнего витка шнека, м;  $S_k$  – шаг последнего витка шнека, м;  $b_1$  и  $b_2$  – ширина винтовой лопасти в ее нормальном сечении по наружному и внутреннему радиусам шнека, м;  $\alpha_k$  – угол подъема винтовой линии последней лопасти шнека, град;  $\rho_2$  – плотность спрессованного материала на выходе из отверстий матрицы, кг/м<sup>3</sup>;  $K_v$  – приведенный коэффициент наполнения полости последнего витка шнека;  $K_n$  – коэффициент наполнения;  $K_p$  – коэффициент прессования;  $K_c$  – коэффициент снижения подачи.

Данная формула учитывает большинство факторов, оказывающих влияние на производительность шнекового пресса, однако ее применение ограничено эмпирическим характером коэффициентов  $K_v$ ,  $K_n$ ,  $K_p$ ,  $K_c$ , которые при изменении типа прессуемого материала требуют дополнительной выверки и корректировки.

Важнейшей характеристикой процесса экструдирования немецкий ученый Клеменс Кольгрюбер считает удельную потребляемую мощность [12]. По мнению автора, данная характеристика не зависит от конструктивных размеров экструдера и отлична для каждого из видов экструдированного продукта. Механическая составляющая удельной потребляемой мощности может быть рассчитана по формуле [12]

$$P_{\text{specif\_mech}} = \frac{2\pi n M_D}{\dot{m}}, \quad (2)$$

где  $P_{\text{specif\_mech}}$  – механическая составляющая удельной потребляемой мощности, кВт·ч/кг;  $n$  – частота вращения шнека экструдера, мин<sup>-1</sup>;  $M_D$  – крутящий момент на валу шнека, Н·м;  $\dot{m}$  – производительность экструдера, кг/ч.

В России рядом авторов [1, 3] предложены теоретические зависимости для определения мощности, затрачиваемой при работе шнекового пресса. Однако данные формулы носят эмпирический характер и позволяют получить необходимые результаты лишь в первом приближении.

**Результаты исследований.** Производительность шнекового пресса  $Q$ , кг/ч, определяется по формуле [3]

$$Q = 0,785 D_3^2 L_{1в} (1 - \chi) n \rho (1 - k), \quad (3)$$

где  $D_3$  – внутренний диаметр зеера на участке первого витка, м;  $L_{1в}$  – длина первого витка, м;  $\chi$  – коэффициент заполнения объема зеера первым витком;  $n$  – частота вращения шнека, мин<sup>-1</sup>;  $\rho$  – плотность прессуемого материала, кг/м<sup>3</sup>;  $k$  – коэффициент возврата, определяется эмпирическим уравнением  $k = \frac{2,15}{\beta^{0,58}}$ , где  $\beta$  – ширина выходной щели пресса, мм [4].

Произведение величин  $0,785 D_3^2 L_{1в} (1 - \chi)$  в формуле (3) выражает свободный объем первого витка цилиндрического шнекового пресса. Для пресса предлагаемой нами конструкции свободный объем первого витка  $V_1$ , м<sup>3</sup>, рассчитывается следующим образом:

$$V_1 = S_{\text{сеч1}} l_1, \quad (4)$$

где  $S_{\text{сеч1}}$  – площадь поперечного сечения первого витка канала шнека, м<sup>2</sup>;  $l_1$  – длина первого витка, м.



Площадь поперечного сечения первого витка канала шнека пресс-экструдера предложенной конструкции может быть определена по формуле

$$S_{\text{сеч}1} = \frac{1}{2}(D_3 - d)(\pi D_3 \text{tg}\alpha_0 - \delta), \quad (5)$$

где  $d$  – внутренний диаметр шнека, м;  $\alpha_0$  – начальное значение угла наклона винтовой линии шнека, рад;  $\delta$  – толщина листа заготовки витка шнека, м.

Длина первого витка  $l_1$  определяется по формуле

$$l_1 = \frac{\pi D_3}{\cos \alpha_0}. \quad (6)$$

С учетом формул (5, 6) выражение (4) примет следующий вид:

$$V_1 = \frac{1}{2}(D_3 - d)(\pi D_3 \text{tg}\alpha_0 - \delta) \frac{\pi D_3}{\cos \alpha_0}, \quad (7)$$

где  $\alpha_0$  – начальное значение угла наклона винтовой линии шнека, рад.

Тогда выражение (3) будет иметь следующий вид:

$$Q = \frac{30\pi n D_3 \rho}{\cos \alpha_0} (D_3 - d)(\pi D_3 \text{tg}\alpha_0 - \delta)(1 - k), \quad (8)$$

где 30 – переводной коэффициент для частоты вращения шнека  $n$  из мин<sup>-1</sup> в ч<sup>-1</sup>.

В полученной формуле (8) при расчете производительности экструдера учтены стандартные геометрические характеристики шнека (внешний диаметр шнека  $D_3$ , внутренний диаметр шнека  $d$ , толщина листа заготовки витка шнека  $\delta$ , начальное значение угла наклона винтовой линии  $\alpha_0$ ). Также на производительность будут влиять скорость продвижения материала в канале шнека (частота вращения  $n$ ), физико-механические свойства прессуемого продукта (его плотность  $\rho$ ) и объем противотока материала (коэффициент возврата  $k$ ).

С целью уточнения данных по формуле (8) эмпирическое уравнение для нахождения коэффициента возврата  $k$  ( $k = \frac{2,15}{\beta^{0,58}}$ ) [3] требует практической проверки в лабораторных условиях, в частности, выявления степени влияния скорости движения материала в шнеке и давления в канале на объем органических отходов, выдавливаемых обратно через зазор между шнеком и корпусом.

Полезная мощность, затрачиваемая на привод шнека, рассчитывается по формуле [7, 9]

$$N = \frac{\pi n M_{\text{кр}}}{30\eta_{\text{пр}}}, \quad (9)$$

где  $\eta_{\text{пр}}$  – КПД привода экструдера;  $\eta_{\text{пр}} = 0,4 \dots 0,6$  [9];  $M_{\text{кр}}$  – крутящий момент на валу шнека, Н·м.

Крутящий момент можно определить из выражения [9, 10]

$$M_{\text{кр}} = 0,131 z P_{\text{max}} (D_3^3 - d^3) \text{tg}\alpha_{\text{cp}}, \quad (10)$$

где  $\alpha_{\text{cp}}$  – среднее арифметическое значение углов подъема винтовых линий, рад;  $P_{\text{max}}$  – максимальное давление, создаваемое шнеком, Па; в нашем случае это будет давление  $P_2$ , определяемое по формуле

$$P_2 = P_1 \exp \left\{ \pi D_3 f \frac{v}{1-v} \left[ 2 \sum_{i=1}^{z_2} \left( \frac{1}{\cos \alpha_{2i} [R_0 - \Delta(i-1)]} \right) + \frac{\pi D_3 z_2}{\frac{\pi}{2} + \text{tg} \psi} \sum_{i=1}^{z_2} \left( \frac{\sin \alpha_{2i}}{[R_0 - \Delta(i-1)]^2} \right) \right] \right\}, \quad (11)$$

где  $\alpha_{2i}$  – значения угла наклона винтовой линии шнека на  $i$ -м витке прессующей части шнека, рад;  $z_2$  – число витков в правой части;  $v$  – коэффициент Пуассона;  $f$  – коэффициент трения скольжения материала по поверхности шнека;  $\psi$  – угол установки фрезы в вертикальной плоскости, град;  $R_0$  – начальный радиус фрезерования, м.

Изменение угла подъема  $\alpha$  [5] можно описать уравнением

$$\alpha_1 = \alpha_0 - m D_3 \pi z. \quad (12)$$





Среднее арифметическое значение углов подъема винтовых линий шнека  $\alpha_{cp}$  в общем случае равно  $\frac{\sum_{i=1}^z \alpha_i}{z}$ .

Если принять во внимание выражение (12), то

$$\alpha_{cp} = \alpha_0 - \frac{mD_3\pi \sum_{i=1}^z i}{z}. \quad (13)$$

Сумма  $\sum_{i=1}^z i$  представляет собой сумму всех натуральных чисел от 1 до  $z$  и может быть заменена формулой  $\sum_{i=1}^z i = \frac{z(z+1)}{2}$  [8].

Так как шнек состоит из двух частей с изменяющимися углами навивки (см. рисунок 1), то  $\alpha_{cp} = \frac{\alpha_{cp1} + \alpha_{cp2}}{2}$ , где  $\alpha_{cp1}$  и  $\alpha_{cp2}$  – средние значения углов подъема винтовых линий в левой и правой частях шнека соответственно. С учетом выражения (12) получим:

$$\alpha_{cp} = \frac{1}{2} \left[ \left( \alpha_{0-1} - \frac{m_1 D_3 \pi (z_1 + 1)}{2} \right) + \left( \alpha_{0-2} - \frac{m_2 D_3 \pi (z_2 + 1)}{2} \right) \right], \quad (14)$$

где  $\alpha_{0-1}$  и  $\alpha_{0-2}$  – начальные значения угла наклона винтовой линии шнека в левой и правой частях, рад;  $m_1$  и  $m_2$  – коэффициенты пропорциональности в левой и правой частях,  $m^{-1}$ ;  $z_1$  и  $z_2$  – число витков шнека в левой и правой его частях.

С учетом (10) выражение (9) примет следующий вид:

$$N = \frac{\pi n 0,131 z_{\Sigma} P_2 (D_3^3 - d^3) \operatorname{tg} \alpha_{cp}}{30 \eta_{np}}, \quad (15)$$

где  $z_{\Sigma}$  – число витков всего шнека,  $z_{\Sigma} = z_1 + z_2$ .

Теоретические результаты мощности и производительности комбинированного пресс-экструдера представлены на графике (рисунок 2).

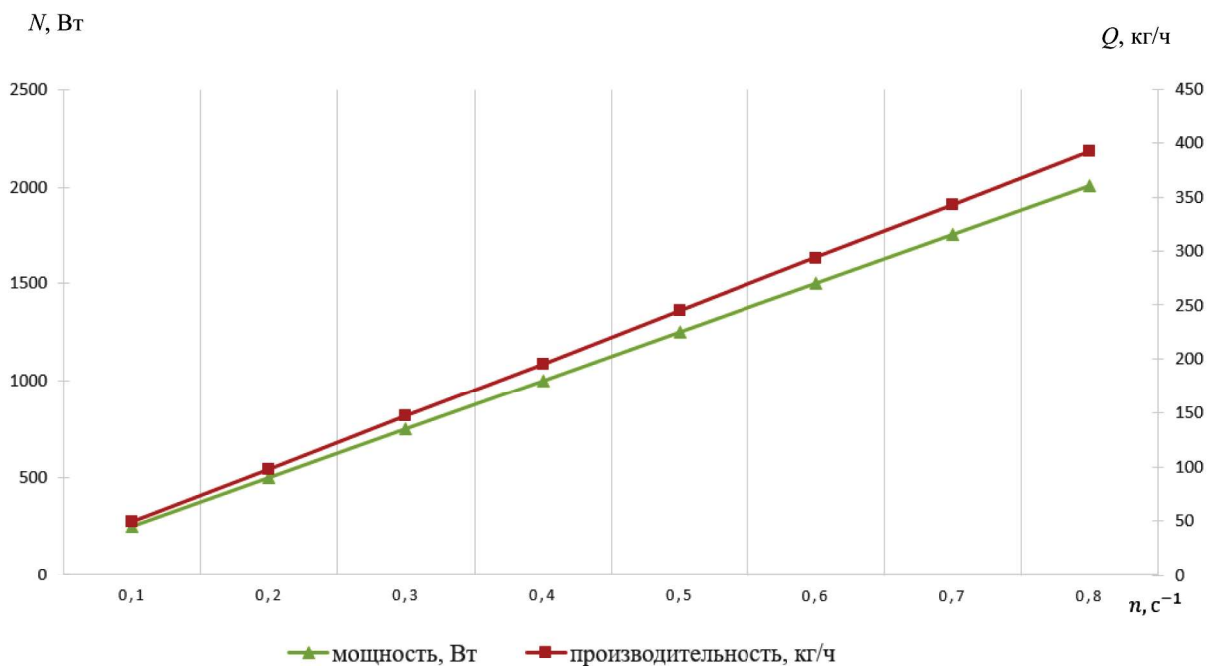


Рисунок 2 – Зависимости изменения мощности  $N$  и производительности  $Q$  от частоты вращения шнека  $n$

Figure 2 Dependences of the change in power  $N$  and productivity  $Q$  on the rotation speed of the screw  $n$

Проанализировав указанные зависимости, можно сделать вывод, что производительность процесса экструдирования и затрачиваемая мощность увеличиваются с повышением частоты вращения шнека по линейной зависимости.

**Заключение.** На основании выражений (8) и (15) можно получить значения производительности и затрачиваемой полезной мощности на привод шнека пресс-экструдера предложенной конструкции в зависимости от принятых геометрических параметров, а именно: числа витков шнека в левой ( $z_1$ ) и правой ( $z_2$ ) частях, внешнего диаметра шнека  $D_3$ , внутреннего диаметра шнека  $d$ , начального значения угла наклона винтовой линии шнека  $\alpha_0$ , среднего арифметического значения углов подъема винтовых линий  $\alpha_{cp}$ , толщины листа заготовки витка шнека  $\delta$ , плотности прессуемого материала  $\rho$ , максимальной величины давления, создаваемого шнеком  $P_2$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайчик Ц. Р. Технологическое оборудование винодельческих предприятий. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ДеЛи, 2001. 522 с.
2. Киселев Н. Г. Повышение эффективности применения органоминеральных удобрений на основе куриного помета путем разработки технологии и технических средств их гранулирования: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. СПб, 2006. 19 с.
3. Масликов В. А. Примеры расчетов оборудования производства растительных масел. М.: Пищепромиздат, 1959. 226 с.
4. Масликов В. А. Технологическое оборудование производства растительных масел. М.: Пищ. пром-сть, 1974. 439 с.
5. Математическое моделирование и расчет конструктивных параметров измельчителей с переменным шагом винтовой линии шнека / В. В. Пеленко [и др.] // Вестник МГТУ. 2017. Т. 20. № 3. С. 556–562.
6. Повышение эффективности процесса производства экструдированных кормовых продуктов за счет изменения конструктивных параметров шнека пресс-экструдера: монография / Д. В. Мартынова [и др.]. Оренбург: ИПК Университет, 2018. 208 с.
7. Раувендааль К. Экструзия полимеров. 4-е изд. СПб: Профессия, 2008. 768 с.
8. Сетяева И. А., Афонькина Т. В. Нахождение суммы некоторых рядов натуральных чисел // Студенческий научный форум: материалы V Междунар. студенческой науч. конф. Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2013/article/2013006769>; дата обращения: 17.01.2025.
9. Технологии и оборудование для экструдирования растительного сырья: учеб. пособие / В. И. Пахомов [и др.]. Ростов н/Д: ДГТУ, 2018. 108 с.
10. Харламов С. В. Практикум по курсу «Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств» [Текст]: [Для специальности «Машины и аппараты пищевых производств» вузов]. Ленинград: Машиностроение, 1971. 200 с.
11. Шнековый пресс-экструдер для гранулирования вермикомпоста: патент № 223955 Российская Федерация / С. А. Макаров, А. В. Данилин, А. С. Березкин; заявл. 20.12.2023; опубл. 11.03.2024.
12. Kohlgrüber K. Co-rotating twin-screw extruders. Munich: Carl Hanser Verlag, 2008. 354 p.

#### REFERENCES

1. Zaychik Ts.R. Technological equipment of wineries. 2nd ed., revised and add. Moscow, 2001. 522 p. (In Russ.).
2. Kiselev N. G. Improving the effectiveness of the use of organomineral fertilizers based on chicken manure through the development of technology and technical means of their granulation. abstract of the thesis ... Cand. of Tech. Sciences: 05.20.01. St. Petersburg, 2006. 19 p. (In Russ.).
3. Maslikov V. A. Examples of calculations of equipment for the production of vegetable oils. Moscow, 1959. 226 p. (In Russ.).
4. Maslikov V. A. Technological equipment for the production of vegetable oils. Moscow, 1974. 439 p. (In Russ.).
5. Mathematical modeling and design parameters of crushing machines with variable-pitch helix of the screw / V. V. Pelenko, V. A. Pokholchenko, I. I. Usmanov, A. A. Somov, A. A. Smirnov. *Vestnik of MSTU*. 2017;20(3):556–562. (In Russ.).
6. Improving the efficiency of the production process of extruded feed products by changing the design parameters of the press extruder screw / D. V. Martynova, V. P. Popov, V. P. Khanin, G. B. Zinyukhin, S. V. Antimonov, G. A. Sidorenko. Orenburg, 2018. 208 p. (In Russ.).
7. Rauvendaal K. Polymer extrusion. 4th ed. St. Petersburg, 2008. 768 p. (In Russ.).
8. Setajewa I. A., Afonkina T. W. The finding of the sum of some series of natural numbers. *Student Scientific Forum: proceedings of the V International Student Scientific Conference*. Available at: <https://scienceforum.ru/2013/article/2013006769>, date of access: 01/17/2025. (In Russ.).
9. Technologies and equipment for extrusion of vegetable raw materials / V. I. Pakhomov, D. V. Rudoy, T. I. Tupolskikh, A. N. Solovyov, S. V. Braginets, O. N. Bakhchevnikov. Rostov-on-Don: DSTU, 2018. 108 p. (In Russ.).
10. Kharlamov S. V. Workshop on the course “Calculation and design of machines and apparatuses of food production” [Text]: [For the specialty “Machines and apparatuses of food production” for universities]. Leningrad, 1971. 200 p. (In Russ.).
11. Screw press extruder for granulating vermicompost: patent No. 223955 Russian Federation / S. A. Makarov, A. V. Danilin, A. S. Berezkin; appl. 12/20/2023; publ. 03/11/2024. (In Russ.).
12. Kohlgruber K. Co-rotating twin-screw extruders. Munich: Carl Hanser Verlag, 2008. 354 p.

Статья поступила в редакцию 19.05.2024; одобрена после рецензирования 20.06.2024; принята к публикации 28.06.2024.  
The article was submitted 19.05.2024; approved after reviewing 20.06.2024; accepted for publication 28.06.2024.

