

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НА ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ГРАНУЛИРОВАНИЯ РАДИУСОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПРЕСС-ГРАНУЛЯТОРА

## DETERMINATION OF THE EFFECT ON THE ENERGY INTENSITY OF GRANULATION OF THE RADII OF THE WORKING BODIES OF THE PRESS GRANULATOR

**В.Ю. ПОЛИЩУК**<sup>1</sup>, д.т.н.  
**Е.И. ПАНОВ**<sup>1,2</sup>, к.т.н.  
**С.П. ВАСИЛЕВСКАЯ**<sup>1</sup> к.т.н.

<sup>1</sup> Оренбургский государственный университет, Оренбург,  
Россия

<sup>2</sup> Оренбургский институт путей сообщения – филиал  
СамГУПС, Оренбург, Россия, mahpp@mail.osu.ru

**V.YU. POLISHCHUK**<sup>1</sup>, DSc in Engineering  
**E.I. PANOV**<sup>1,2</sup>, PhD in Engineering  
**S.P. VASILEVSKAYA**<sup>1</sup>, PhD in Engineering

<sup>1</sup> Orenburg State University, Orenburg, Russia

<sup>2</sup> Orenburg Institute of Railway Transport, branch of Samara  
State University of Railway Transport, Orenburg, Russia,  
mahpp@mail.osu.ru

Выявлены ранее неизвестные свойства прессующего механизма пресс-гранулятора с одним прессующим роликом большого диаметра. Методом вычислительного эксперимента с использованием проведенного ранее экспериментального исследования процесса гранулирования полуфабриката растительного происхождения по математической модели напряженного состояния прессуемого в рабочем пространстве пресс-гранулятора полуфабриката определена энергоемкость процесса гранулирования. Определены зависимости геометрических параметров рабочего пространства прессующего механизма. Методами теории пластичности определены силы полезного сопротивления движению кольцевой матрицы. На их основе определена мощность сил полезного сопротивления. На основе расчета напряженного состояния прессуемого полуфабриката в прессующем механизме определены границы зоны выдавливания полуфабриката в фильеры матрицы. На основе расчета массового расхода полуфабриката на входе в зону выдавливания и на выходе из нее вычислена производительность прессующего механизма на единичной ширине рабочих органов. Энергоемкость процесса гранулирования определена отношением мощности сил полезного сопротивления к производительности прессующего механизма на единичной ширине рабочих органов. В вычислительном эксперименте произведено сравнение энергоемкости прессующего механизма пресс-гранулятора ПГМ-05 и проекта прессующего механизма с радиусами рабочих органов, увеличенными пропорционально на 20 %. Показано, что увеличение радиусов матрицы и ролика пресс-гранулятора на 20 % увеличивает производительность и снижает энергоемкость гранулирования. Если энергоемкость процесса одинакова, то производительность увеличивается на 60...89 %. При увеличении энергоемкости увеличение производительности уменьшается. Если производительность одинакова, то энергоемкость уменьшается на 31...38 %. При увеличении производительности падение энергоемкости уменьшается. Таким образом, можно сделать заключение о целесообразности увеличения радиусов рабочих органов пресс-гранулятора ПГМ-05 на 20 %.

*Ключевые слова:* пресс-гранулятор, кольцевая матрица, прессующий ролик, энергоемкость, экструдирование.

Previously unknown properties of the pressing mechanism of the press granulator with one largediameter pressing roller were revealed. Using the method of a computational experiment taking into account a previously conducted experimental study of the granulation of a semifinished product of plant origin, the energy intensity of the granulation process is determined using a mathematical model of the stress state of the semifinished product pressed in the working space of a press granulator. The dependences of the geometric parameters of the working space of the pressing mechanism are determined. Using the methods of plasticity theory, the forces of useful resistance to the motion of the annular matrix are determined. Based on them, the power of useful resistance forces is determined. Based on the calculation of the stress state of the pressed semifinished product in the pressing mechanism, the boundaries of the zone of extrusion of the semifinished product into the die plate are determined. Based on the calculation of the mass flow rate of the semifinished product at the entrance to the extrusion zone and at the exit from it, the productivity of the pressing mechanism on the unit width of the working bodies is calculated. The energy intensity of the granulation process is determined by the ratio of the power of the forces of useful resistance to the productivity of the pressing mechanism on the unit width of the working bodies. In a computational experiment, a comparison was made of the energy intensity of the pressing mechanism of the PGM-05 press granulator and the design of the pressing mechanism with the working tool radii increased proportionally by 20 %. It is shown that an increase in the radii of the matrix and roller of the press granulator by 20 % increases productivity and reduces the energy consumption of granulation. If the energy intensity of the process is the same, then productivity increases by 60...89 %. With an increase in energy intensity, an increase in productivity decreases. If the productivity is the same, then the energy intensity is reduced by 31...38 %. With increasing productivity, the drop in energy intensity decreases. Thus, we can conclude that it is advisable to increase the radii of the working bodies of the PGM-05 press granulator by 20 %.

*Keywords:* press granulator, ring die, compression roller, energy consumption, extrusion.

## Введение

Оптимизация параметров прессующих механизмов пресс-грануляторов является сложной задачей. Наибольшее распространение получили пресс-грануляторы с кольцевой матрицей и расположенным внутри матрицы хотя бы одним прессующим роликом. Экструдирование полуфабриката в таком прессующем механизме обладает наименьшей энергоёмкостью среди других конструкций прессующих механизмов, однако и в этом случае энергоёмкость процесса достаточно высока. В связи с этим исследование того, как влияют радиусы рабочих поверхностей кольцевой матрицы и прессующего ролика на энергоёмкость гранулирования является актуальной задачей [1].

## Цель исследований

Изучить энергоёмкость прессующего механизма с кольцевой матрицей и одним прессующим роликом методом вычислительного эксперимента. Обосновать изменение размеров рабочих органов.

## Материалы и методы

Энергоёмкость процесса гранулирования теоретически можно определить, рассматривая напряженное состояние экструдруемого полуфабриката в клиновидном пространстве между матрицей и прессующим роликом, схема которого представлена на рис. 1.

На схеме, кольцевая матрица радиуса рабочей поверхности  $r_1$ , вращается отно-

сительно водила с угловой скоростью  $\omega$ . В матрице размещены прессующие ролики радиуса рабочей поверхности  $r_2$ , которые свободно вращаются на водиле. Полуфабрикат подается на рабочую поверхность матрицы слоем радиальной высоты  $h_0$ , контактируя с прессующим роликом в радиальном сечении с координатой  $s_0$ , прессуется между рабочими органами и экструдруется через каналы фильер матрицы. Это приводит к большим нагрузкам на рабочие органы. Угол клина в пространстве между матрицей и роликом  $\vartheta$  определяется радиусами  $r_1$  и  $r_2$ , проходящими в точке поверхности ролика при радиальной высоте  $h$ , с текущей координатой  $s$  (рис. 1).

Многие исследования установили наличие пластического течения полуфабриката против направления движения рабочих органов для зоны отставания, которая примыкает к входу в рабочее пространство матрицы и ролика. При этом на полуфабрикат со стороны рабочей поверхности матрицы воздействует касательное напряжение  $\tau < 0$ . Для зоны опережения рабочего пространства, которая примыкает к сечению минимальной высоты  $h_a$  на отрезке координат  $[0; s_{H1}]$ , пластическое течение полуфабриката совпадает по направлению с вращением матрицы и ролика, то есть  $\tau > 0$ .

Контакт прессующего ролика с полуфабрикатом продолжается до сечения с координатой  $s_k$ . На этом участке также выполняется условие  $\tau > 0$ .

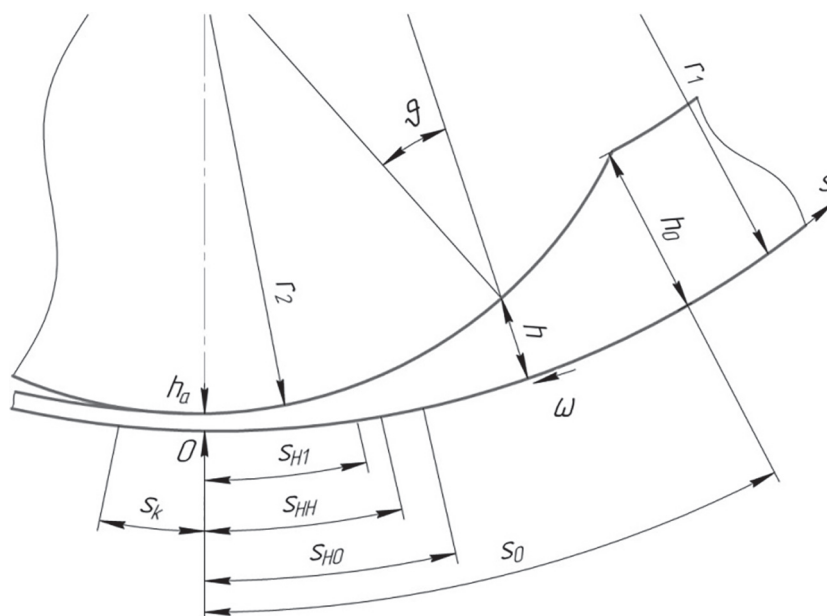


Рис. 1. Расчетная схема пространства между кольцевой матрицей и прессующим роликом

Между зонами отставания и опережения расположена зона выдавливания полуфабриката в каналы фильера с границами от  $s_{h_0}$  до  $s_{h_1}$ . В ней касательное напряжение  $\tau$  на контактных поверхностях рабочих органов уменьшается от максимальных значений на границах с зонами отставания и опережения до нуля в нейтральном сечении рабочего пространства при координате  $s_{nn}$ .

Будем полагать, что в клиновидном пространстве напряженное состояние полуфабриката однородно, объемные силы пренебрежимо малы. Тогда уравнения движения комбикорма совпадают с уравнениями равновесия.

Радиальная высота  $h$  клиновидной области пространства между матрицей и роликом связана с координатой  $s$  выражением (рис. 1):

$$h = r_1 - (r_1 - r_2 - h_a) \cos \frac{s}{r_1} - \sqrt{r_2^2 - (r_1 - r_2 - h_a)^2 \sin^2 \frac{s}{r_1}} \quad (1)$$

Радиусы рабочих поверхностей гранулятора влияют на энергоёмкость гранулирования [2]. Энергоёмкостью будем называть величину  $N/Q$  – отношение мощности, развиваемой силами полезного сопротивления к производительности гранулятора  $Q$ .

$N$  определяется по зависимости:

$$N = n\omega br_1^2 \int_{s_k}^{s_0} \tau d\left(\frac{s}{r_1}\right), \quad (2)$$

где  $n$  – количество роликов в прессующем механизме;  $\omega$  – угловая скорость кольцевой

матрицы относительно водила роликов;  $b$  – единичная ширина рабочей поверхности матрицы.

$Q$  определяется по зависимости:

$$Q = \rho nb\omega \left[ r_1 (h_{h_0} - h_{h_1}) - \frac{1}{2} (h_{h_0}^2 - h_{h_1}^2) \right], \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность полуфабриката в зоне выдавливания;  $h_{h_0}$  и  $h_{h_1}$  – соответственно, радиальная высота слоя с координатами  $s_{h_0}$  и  $s_{h_1}$ .

Определим влияние на энергоёмкость гранулирования древесных опилок увеличения радиуса рабочей поверхности матрицы с  $r_1 = 0,0875$  м, как в пресс-грануляторе ПГМ-05, до принятого в проекте радиуса  $r_1 = 0,105$  м при пропорциональном увеличении радиуса ролика.

В вычислительном эксперименте использованы геометрические параметры рабочих органов, которые приведены в табл. 1.

Рабочая поверхность матрицы проекта имеет радиус, выбранный произвольно. Отношение  $r_2/r_1$  сохранено, как в пресс-грануляторе ПГМ-05.

Значение  $h_k$  взято из результатов физического эксперимента, изложенного в статье [3]. Эксперимент был произведен на лабораторном стенде, созданном на основе пресс-гранулятора ПГМ-05, включающем прессующий ролик с измерительным устройством, аналогичным патенту РФ № 2588925 [4].

Применение единичной ширины  $b$  позволяет не привязывать результаты вычислений к ширине рабочей поверхности матрицы.

Таблица 1

Принятые геометрические параметры рабочих органов

Параметры	ПГМ-05	Проект	
Радиус рабочей поверхности матрицы $r_1$ , м	0,0875	0,105	
Отношение радиуса рабочей поверхности ролика и матрицы $r_2/r_1$	0,777		
Радиус рабочей поверхности ролика $r_2$ , м	0,068	0,0815	
Минимальный зазор между матрицей и роликом $h_a$ , м	0,004		
Расстояние между матрицей и роликом при завершении контакта ролика и полуфабриката $h_k$ , м	0,005937		
Единичная ширина рабочей поверхности матрицы $b$ , м	0,01		
Координата в начале контакта полуфабриката с роликом, м	$s_{01}$	0,13	0,16
	$s_{02}$	0,16	0,2
	$s_{03}$	0,19	0,23
	$s_{04}$	0,21	0,26
	$s_{05}$	0,24	0,29
	$s_{06}$	0,27	0,32

Величины  $s_{01}, \dots, s_{06}$  определяют уровень наполнения рабочего пространства гранулятора полуфабрикатом.

Также приняты параметры физико-механических свойств полуфабриката и параметры его напряженного состояния, которые приведены в табл. 2. Они взяты из статьи [3].

Средняя плотность гранул найдена с использованием пикнометра. Плотность гранул равна  $\rho = 1240 \pm 80$  кг/м<sup>3</sup> и принята в формуле (3).

Расчеты производились в электронных таблицах MS Excel.

Чтобы определить энергоёмкость процесса, следует вычислить мощность сил полезного сопротивления для единичной ширины рабочего пространства. Рабочее пространство можно разделить: на зону опережения на отрезке координат  $[s_k; 0]$ , определяющем отрезок расстояний между рабочими органами  $[h_k; h_a]$ ; зону опережения на отрезке координат  $[0; s_{H1}]$ , определяющем отрезок расстояний между рабочими органами  $[h_i; h_{i-1}]$ ; зону выдавливания на отрезке координат  $[s_{H1}; s_{HO}]$ , определяющем отрезок расстояний между рабочими органами  $[h_{H1}; h_{HO}]$ , и зону отставания на отрезке координат  $[s_{HO}; s_0]$ , определяющем отрезок расстояний между рабочими органами  $[h_{HO}; h_0]$ .

Координата  $h_k$  из зависимости (1) позволяет определить протяженность отрезка  $[s_k; 0]$ . Для ПГМ-05  $s_k = 0,04$  м. В проекте  $s_k = 0,0425$  м.

Адекватный аналитический расчет напряжений в полуфабрикате для отрезка  $[s_k; 0]$  нам неизвестен, поэтому предположим, что для этого отрезка напряжение сдвига  $\tau_k$  равно средней величине его значений в начале и на конце отрезка в виде:

$$\tau_k = -\tau_{TO} \exp\left(\beta \frac{\sigma_a}{2}\right). \quad (4)$$

Физико-механические свойства и напряжения в полуфабрикате

Параметры	ПГМ-05	Проект
Предельное напряжение сдвига для атмосферного давления $\tau_{TO}$ , МПа	1,35	
Коэффициент всестороннего давления $\beta$ , МПа <sup>-1</sup>	0,02	
Плотность полуфабриката $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	1240	
Угловая скорость движения матрицы $\omega$ , рад/с	19,9	
Нормальное напряжение в минимальном зазоре между матрицей и роликом $\sigma_a$ , МПа	7,8	
Нормальное напряжение на границе зоны отставания и зоны выдавливания $\sigma_{HO}$ , МПа	28,5	
Нормальное напряжение на границе зоны выдавливания и зоны опережения $\sigma_{H1}$ , МПа	28,5	

Знак «-» в зависимости (4) показывает направление напряжения сдвига  $\tau_k$  относительно оси координат.

Силы полезного сопротивления на единичной ширине отрезка  $[s_k; 0]$  создают мощность (кВт):

$$N_k = 1000 \tau_k s_k b \omega r_1. \quad (5)$$

У ПГМ-05  $N_k = -1,02$  кВт. В проекте  $N_k = -1,3$  кВт. Знак «-» показывает, что мощность подается от полуфабриката к матрице гранулятора.

На отрезке  $[0; s_{H1}]$  сначала нужно определить координату границы отрезка  $s_{H1}$ . Определили ее по зависимости для вычисления нормального напряжения [3]:

$$\sigma_{si} = -\frac{1}{\beta} \ln \left[ \exp(-\beta \sigma_{sa}) - \beta \tau_{TO} \sum_1^i \Phi_i \Delta s \right], \quad (6)$$

$i = 1, 2, \dots, n.$

Коэффициент  $\Phi_i$  вычисляют по середине  $i$ -го участка.

Коэффициент геометрических параметров прессующих механизмов при внутреннем контакте рабочих органов  $\Phi_i$  определен зависимостью [3]:

$$\Phi_i = \frac{2r_1 - h_i + tg^2 \vartheta_i}{r_1 - h_i} \cdot \frac{r_1 - r_2 - h_a}{r_1} \sin \frac{s_i}{r_1} \times \left[ 1 + \frac{2(r_1 - r_2 - h_a) \cos \frac{s_i}{r_1}}{\sqrt{r_2^2 - (r_1 - r_2 - h_a)^2 \sin^2 \frac{s_i}{r_1}}} \right]. \quad (7)$$

Угол  $\vartheta_i$  можно найти по формуле:

$$\vartheta_i = \arcsin \left( \frac{r_1 - r_2 - h_a}{r_2} \sin \frac{s_i}{r_1} \right), \quad (8)$$

Таблица 2

Принят шаг интегрирования  $\Delta s = 0,001$  м. Численное интегрирование выполнялось по методу трапеций. Для большей точности нахождения координаты  $s_{H1}$  на шаге интегрирования, содержащем напряжение  $\sigma_{H1}$ , он был разделен еще на 10 частей для нахождения координаты  $\sigma_{H1}$ . В результате определено для ПГМ-05  $s_{H1} = 0,019259$  м, в проекте  $s_{H1} = 0,018961$  м. Высота слоя между матрицей и роликом при координате  $s_{H1}$  для ПГМ-05  $h_{H1} = 0,004458$  м, в проекте  $h_{H1} = 0,004392$  м.

Предельное напряжение сдвига на рабочей поверхности матрицы на отрезке  $[0; s_{H1}]$   $\tau_i$  для каждого шага интегрирования определяет выражение [3]:

$$\tau_i = -\tau_{TO} \exp \left[ \beta \frac{\sigma_{si} + \sigma_{s(i+1)}}{2} \right],$$

$$1 \leq i \leq n, \sigma_{s(n+1)} = \sigma_{H1}, \quad (9)$$

где  $\sigma_{si}$  и  $\sigma_{s(i+1)}$  – нормальные напряжения начала и конца  $i$ -го шага интегрирования.

Знак «-» выражения (9) задает направление  $\tau_i$  относительно оси  $s$ .

Силы полезного сопротивления на отрезке  $[0; s_{H1}]$  единичной ширины создают мощность  $N_1$ , определяемую из выражения (кВт):

$$N_1 = 1000bwr_1 \left\{ \Delta s_1 \sum_{i=1}^{n-1} \tau_i + [s_{H1} - \Delta s_{H1}(n-1)] \tau_n \right\}. \quad (10)$$

У ПГМ-05  $N_1 = -0,665$  кВт. В проекте  $N_1 = -0,785$  кВт. Знак «-» означает, что мощность отдается матрице гранулятора от полуфабриката.

В зоне выдавливания для отрезка координат  $[s_{H1}; s_{H0}]$  примем равной нулю мощность сил полезного сопротивления [5]. На отрезке  $[s_{i0}; s_0]$  сначала нужно определить координату границы отрезка  $s_{H0}$ . Определили ее по зави-

симости для вычисления нормального напряжения [3]:

$$\sigma_{si} = -\frac{1}{\beta} \ln \left[ 1 + \beta \tau_{TO} \sum_1^i \Phi_i \Delta s \right], \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (11)$$

Принят шаг интегрирования  $\Delta s_1 = 0,005$  м. Численное интегрирование выполнялось по методу трапеций. Для большей точности нахождения координаты  $s_{H0}$  на шаге интегрирования, содержащем напряжение  $\sigma_{H0}$ , он был разделен еще на 10 частей для нахождения координаты  $\sigma_{H0}$ . Результаты вычисления границ  $s_{H0}$  и высоты слоя между матрицей и роликом на этой границе  $h_{H0}$ , рассчитанные по формуле (1), представлены в табл. 3.

Напряжение сдвига на рабочей поверхности матрицы  $\tau_i$  на отрезке  $[s_{i0}; s_0]$  для каждого шага интегрирования, также как (9), имеет вид:

$$\tau_i = \tau_{TO} \exp \left[ \beta \frac{\sigma_{si} + \sigma_{s(i+1)}}{2} \right],$$

$$1 \leq i \leq n, \sigma_{s(n+1)} = \sigma_{H0}. \quad (12)$$

Силы полезного сопротивления развивают мощность  $N_0$  для единичной ширины отрезка  $[s_{i0}; s_0]$ , которая определена зависимостью (кВт):

$$N_0 = 1000b\omega r_1 \left\{ \Delta s \sum_{i=1}^{n-1} \tau_i + [s_0 - s_{H0} - \Delta s_{H1}(n-1)] \tau_n \right\}. \quad (13)$$

Суммарная мощность, развиваемая силами полезного сопротивления на единичной ширине рабочего пространства  $N$ , имеет вид:

$$N = N_0 + N_1 + N_k. \quad (14)$$

### Результаты и обсуждение

Результаты вычисления мощности, развиваемой силами полезного сопротивления, и производительности гранулятора сведены в табл. 4.

Таблица 3

Геометрические размеры зоны отставания

ПГМ-05			Проект		
$s_0$ , М	$s_{H0}$ , М	$h_{H0}$ , М	$s_0$ , М	$s_{H0}$ , М	$h_{H0}$ , М
0,13	0,044459	0,006378	0,16	0,055839	0,007585
0,16	0,051498	0,007155	0,2	0,064459	0,008338
0,19	0,057155	0,007846	0,23	0,06951	0,009005
0,21	0,060406	0,008269	0,26	0,073892	0,009615
0,24	0,064782	0,008866	0,29	0,077823	0,010186
0,27	0,068985	0,009467	0,32	0,081539	0,010744

Таблица 4

Вычисленные параметры пресс-гранулятора

ПГМ-05			Проект		
$N_0$ , кВт	$N$ , кВт	$Q$ , кг/с	$N_0$ , кВт	$N$ , кВт	$Q$ , кг/с
2,479	0,794	0,0376	3,609	1,524	0,0755
3,112	1,427	0,0526	4,64	2,554	0,0929
3,777	2,092	0,0658	5,454	3,369	0,1083
4,233	2,549	0,0738	6,285	4,199	0,1222
4,928	3,244	0,0851	7,129	5,043	0,1352
5,632	3,947	0,0963	7,985	5,899	0,1478

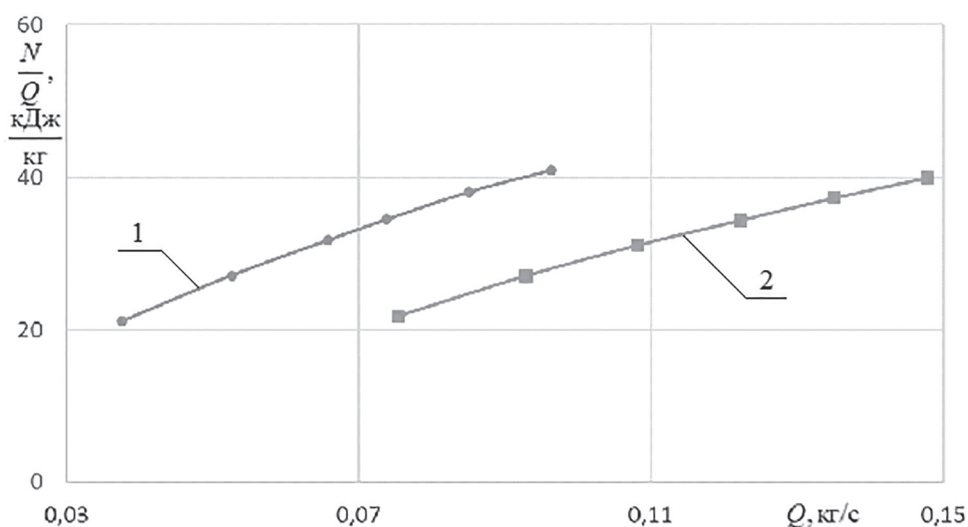


Рис. 2. Диаграммы зависимостей энергоёмкости в прессующем механизме от производительности для единичной ширины матрицы: 1 – ПГМ-05; 2 – проект

Из данных табл. 4 получены диаграммы параметров на рис. 2.

Из анализа диаграмм рис. 2 следует, что увеличение радиусов матрицы и ролика пресс-гранулятора на 20 % увеличивает производительность и снижает энергоёмкость гранулирования. Если энергоёмкость процесса одинакова, то производительность увеличивается на 60–89 %. При увеличении энергоёмкости увеличение производительности уменьшается. Если производительность одинакова, то энергоёмкость уменьшается на 31–38 %. При увеличении производительности падение энергоёмкости уменьшается.

**Выводы**

Таким образом, можно сделать заключение о целесообразности увеличения радиусов рабочих органов пресс-гранулятора ПГМ-05 на 20 %.

**Литература**

1. Титоренко К.В., Панов Е.И. Способы повышения энергоэффективности при производстве твердого биотоплива // Научный поиск: теория и практика альманах: сборник. Уфа, 2017. С. 71–73.
2. Карташов Л.П., Полищук В.Ю. Системный синтез технологических объектов АПК. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 185 с.
3. Панов Е.И., Полищук В.Ю., Ханин В.П. Предельное напряжение сдвига древесных опилок, прессуемых между матрицей и роликом гранулятора // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2015. № 1. С. 17–23.
4. Панов Е.И., Полищук В.Ю., Ханин В.П. Прессующий ролик пресс-гранулятора: патент 2588925 Российская Федерация, МПК В30В11/20 (2006.01), В30В15/00 (2006.01), G01L1/04 (2006.01), G01L9/04 (2006.01); опубл. 10.07.2016, Бюл. № 19. 11 с.

5. Панов Е.И., Полищук В.Ю., Ханин В.П. Уточнение напряженного состояния древесных опилок в зоне выдавливания гранулятора с кольцевой матрицей // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 1. С. 224–228.

### References

1. Titorenko K.V., Panov E.I. Ways to improve energy efficiency in the production of solid biofuels. V sbornike: Nauchnyj poisk: teoriya i praktika al'manah [In the collection: Scientific search: theory and practice almanac]. Ufa, 2017, pp. 71–73 (in Russ.).
2. Kartashov L.P., Polishchuk V.YU. Sistemnyj sintez tekhnologicheskikh ob"ektov APK [System synthesis of techno-logical objects of the agro-industrial complex]. Ekaterinburg: UrO RAN Publ., 1998. 185 p.
3. Panov E.I., Polishchuk V.YU., Hanin V.P. The ultimate shear stress of sawdust pressed between the die and the press granulator. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Mashinostroenie Publ. 2015. No 1, pp. 17–23 (in Russ.).
4. Panov E.I., Polishchuk V.YU., Hanin V.P. Pressuyushchij rolik press-granulyatora [Pressing roller of press granulator]. Pat. 2588925 Rossijskaya Federaciya, MPK V30V11/20 (2006.01), V30V15/00 (2006.01), G01L1/04 (2006.01), G01L9/04 (2006.01). Opubl. 10.07.2016, Byul. No 19. 11 p.
5. Panov E.I., Polishchuk V.YU., Hanin V.P. Clarification of the stress state of sawdust in the extrusion zone of a granulator with a ring matrix. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2015. No 1, pp. 224–228 (in Russ.).