

УДК 631.3

**Е. А. Ладыгин** (ФГБОУ ВПО «ДонГАУ»)

## **ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОДНОМАТРИЧНОГО ШЕСТЕРЕННОГО ПРЕССА**

Статья посвящена вопросам оптимизации некоторых конструктивных и технологических параметров одноматричного шестеренного пресса. В качестве таких параметров выбраны коэффициент высоты головки зуба, подача прессуемого материала и частота вращения рабочих органов, в качестве критериев оптимизации – производительность пресса и энергоёмкость процесса. Приводятся краткое описание пресса, его рабочего процесса и цель данного исследования, которая заключается в определении влияния коэффициента высоты головки зуба, частоты вращения матрицы и подачи прессуемого материала на энергоёмкость процесса и производительность гранулятора. Также даются в таблице план и матрица планирования эксперимента, значения факторов на разных уровнях варьирования и экспериментальные значения критериев оптимизации. Приводятся математические модели этих критериев в виде полиномов второго порядка, находятся корни полиномов, решаются системы уравнений, строятся поверхности отклика. Завершается статья анализом математических моделей и общими выводами по данному исследованию. Результаты эксперимента показали, что повышение производительности гранулятора связано с увеличением частоты вращения матрицы, высоты головки зуба и подачи корма. На энергоёмкость влияние факторов такое же, за исключением подачи, с ростом которой она уменьшается. При этом в эксперименте минимальная энергоёмкость составила 8 кВт ч/т при производительности 52,2 кг/ч.

Ключевые слова: шестеренный пресс, головка зуба, колесо-матрица, прессующее колесо, производительность, энергоёмкость, оптимизация.

**Ye. A. Ladygin** (FSBEE HPE “DonSAU”)

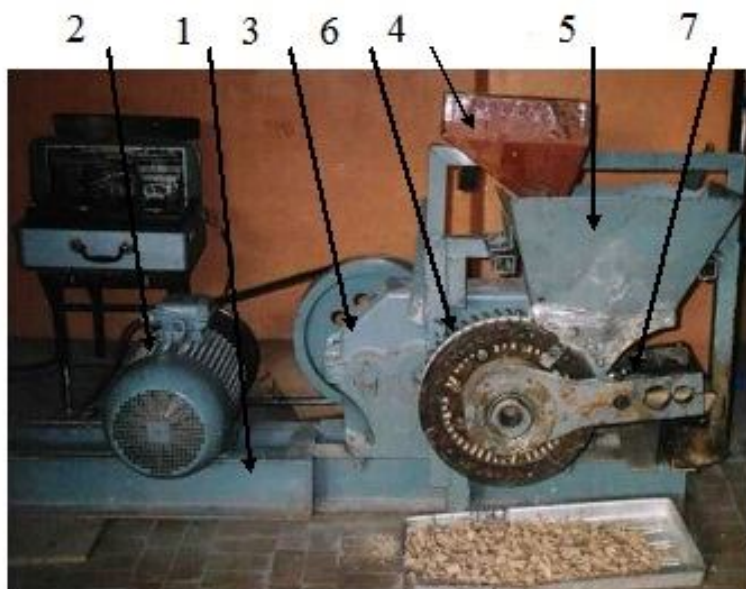
## **OPTIMIZATION OF CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF A SINGLE MATRIX GEAR PRESS**

The paper deals with the optimization of some structural and technological parameters of a single matrix gear press. Those parameters were: the coefficient of a tooth addendum, pressing material supply and rotation frequency of the operative parts. Press productivity and process power-intensity were the optimization criteria. A brief description of the press, its operation process and the purpose of this study are shown. The purpose of the study is the determination of the impact of a tooth addendum, rotation frequency of the matrix and pressing material supply on the process power-intensity and granulator productivity. The matrix of experiment planning, the factor values for the different levels of variation and experimental optimization criteria were tabulated. Mathematical models of those criteria as a second-order polynomial are cited, the roots of polynomials are found, the system of equations is solved and the response surface graphs are plotted. At the end of the paper the analysis of mathematical models and general conclusions of the study are made. The experimental results have shown that the granulator productivity boosting was connected with the increasing of rotation frequency of matrix and the increasing of a tooth addendum and the increasing of a feed supply. The influence of the factors on power-intensity is the same with the exception of a feed supply. While a feed supply is increasing the power-intensity is declining. In the experiment the minimal power-intensity was 8 kWh/t at the press productivity of 52.2 kg/h.

Keywords: gear press, addendum, wheel-matrix, pressing wheel, productivity, power-intensity, optimization.

Одноматричный пресс может быть использован для производства топливных гранул из растительных или древесных материалов, гранулирования кормовых смесей из комбинированных кормов различного состава (в соответствии с видом и группой животных), в том числе с добавлением различных добавок, соответствующих физиологическому состоянию животных.

Шестеренный одноматричный пресс (рисунок 1) состоит из рамы 1, электродвигателя 2, оснащенного сменными шкивами, редуктора 3, дозатора кормов 4, бункера 5, колеса-матрицы 6 и малого прессующего 7.



1 – рама; 2 – электродвигатель; 3 – редуктор; 4 – дозатор кормов;  
5 – бункер; 6 – колесо-матрица; 7 – малое прессующее колесо

**Рисунок 1 – Общий вид гранулятора с большим колесом-матрицей и малым прессующим колесом**

Данный пресс формирует гранулы в отверстиях матричных каналов большого колеса-матрицы при вхождении в них зубьев малого прессующего колеса. При этом эффективность процесса и производительность пресса зависят не только от конструктивных параметров рабочих органов, но и

от технологических факторов, а именно от подачи прессуемого материала и частоты вращения рабочих органов (колеса-матрицы и прессующего колеса).

В связи с этим цель данного исследования заключалась в определении влияния коэффициента высоты головки зуба, который изменялся от 1 до 0,2 модуля, частоты вращения – от 20 до 26 об./мин., подачи прессуемого материала – от 60 до 80 кг/ч (таблица 1) на энергоемкость процесса и производительность гранулятора. Для расширения границ опыта колесо-матрица имеет 48 зубьев с модулем 8 мм, во впадинах которого расположены радиальные каналы прямоугольного сечения. У малого прессующего колеса 14 зубьев того же модуля. Угол зацепления стандартный – 20°.

**Таблица 1 – Матрица планирования эксперимента, значения факторов и результаты эксперимента**

Закодированные значения факторов			Коэффициент высоты головки зуба	Частота вращения, об./мин.	Подача материала, кг/ч	Производительность, кг/ч	Энергоемкость, кВт ч/т
-	0	+	0,2	23	80	51,1	9,0
-	+	0	0,2	26	70	52,2	8,0
-	-	0	0,2	20	70	44,8	10,0
-	0	-	0,2	23	60	40,3	8,9
+	0	+	1	23	80	68,3	10,2
+	+	0	1	26	70	64,00	12,7
+	-	0	1	20	70	62,7	14,2
+	0	-	1	23	60	45,5	15,1
0	+	+	0,6	26	80	63,4	9,3
0	-	+	0,6	20	80	53,4	10,8
0	+	-	0,6	26	60	40,8	10,9
0	-	-	0,6	20	60	40,1	12,8
0	0	0	0,6	23	70	56,7	11,8
0	0	0	0,6	23	70	57,2	10,9
0	0	0	0,6	23	70	60,0	11,3

Для реализации эксперимента был принят план Бокса-Бенкина для трех факторов на трех уровнях варьирования.

В результате реализации эксперимента и обработки опытных данных были получены математические модели для производительности пресса и энергоемкости процесса:

$$Y_{\text{о}} = 49,20 + 9,74x_1 + 1,39x_2 + 8,95x_3 + 0,6x_1x_2 + 2,48x_1x_3 + 2,33x_2x_3 + 1,71x_1^2 + 2,52x_2^2 - 1,57x_3^2; \quad (1)$$

$$Y_{\text{э}} = 16,06 + 4,53x_1 + 1,63x_2 - 2,85x_3 + 0,5x_1x_2 - 0,44x_1x_3 - 0,75x_2x_3 - 0,49x_1^2 - 1,88x_2^2 - 1,81x_3^2, \quad (2)$$

где  $Y_{\text{о}}$  – производительность пресса, кг/ч;

$Y_{\text{э}}$  – энергоемкость процесса гранулирования, кВт ч/т;

$x_1$  – высота зуба, мм;

$x_2$  – частота вращения зубчатых колес, об./мин.;

$x_3$  – подача прессуемого материала, кг/ч.

Затем необходимо было найти значения корней полиномов. Для этого находились частные производные по каждому из факторов функций (1), (2) и затем решались системы уравнений этих производных.

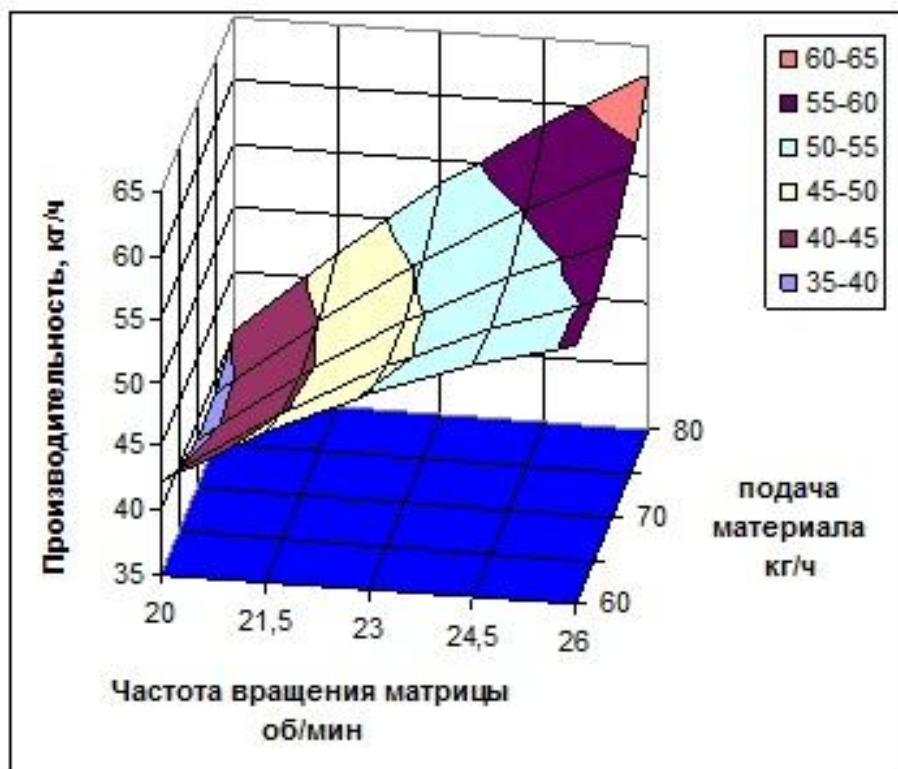
Решение систем уравнений позволило получить следующие значения факторов:

- для производительности  $X_1 = 2,686$ ;  $X_2 = 0,041$ ;  $X_3 = 0,859$ ;

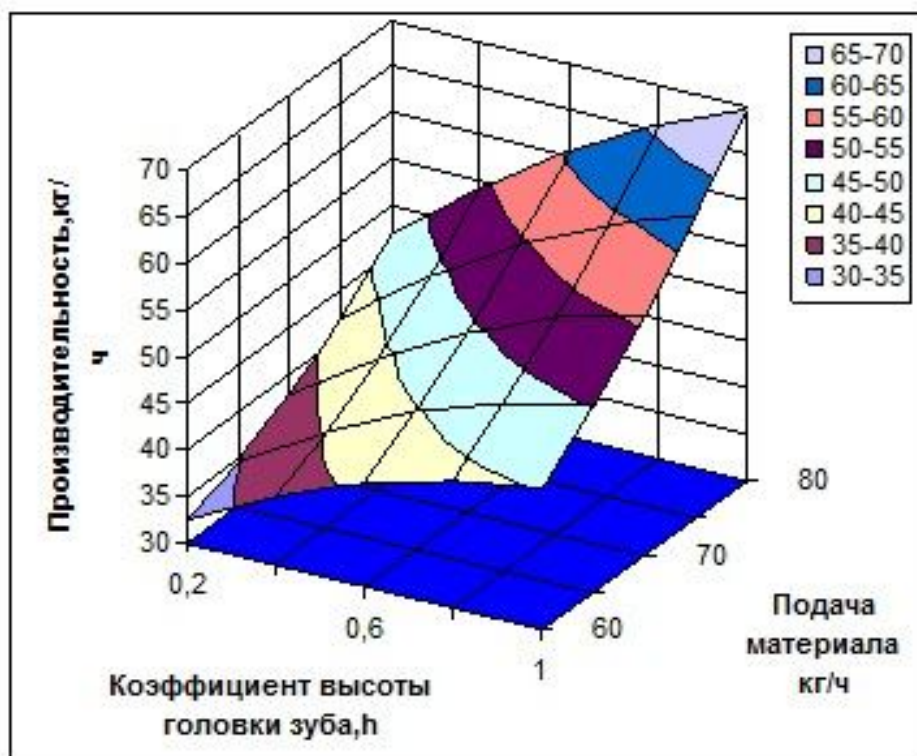
- для энергоемкости  $X_1 = 5,562$ ;  $X_2 = 1,899$ ;  $X_3 = 0,057$ .

Следующий этап работы заключался в построении поверхностей отклика для наглядного представления влияния факторов на критерии оптимизации, который осуществлялся при помощи компьютерной программы Microsoft Excel 2003. В уравнение (1) и (2) подставлялись значения факторов, полученных при решении систем уравнений частных производных. При этом значение одного фактора было зафиксировано, а два других – варьировали от +1 до -1 (рисунки 2-7).

Анализ поверхностей отклика позволяет рекомендовать с целью получения максимальной производительности следующие параметры: коэффициент высоты головки зуба – 1 модуль, частота вращения матрицы – 26 об./мин., подача – 80 кг/ч.



**Рисунок 2 – Поверхность отклика, характеризующая производительность при среднем значении коэффициента высоты головки зуба**



**Рисунок 3 – Поверхность отклика, характеризующая производительность при средней частоте вращения матрицы**

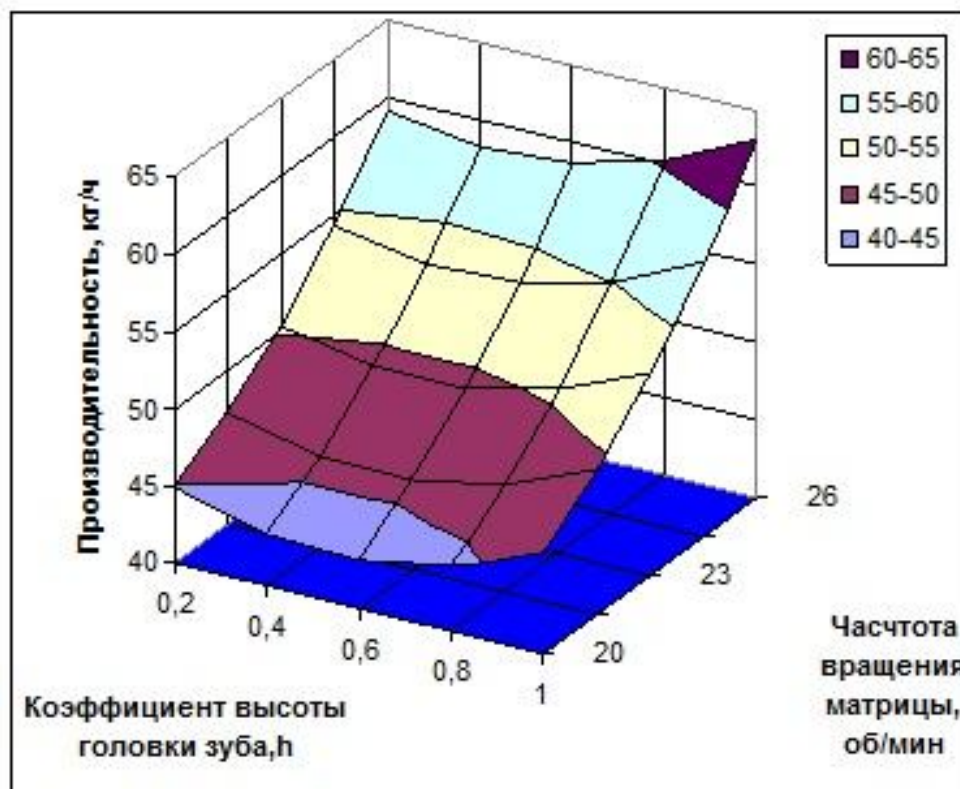


Рисунок 4 – Поверхность отклика, характеризующая производительность при средней подаче материала

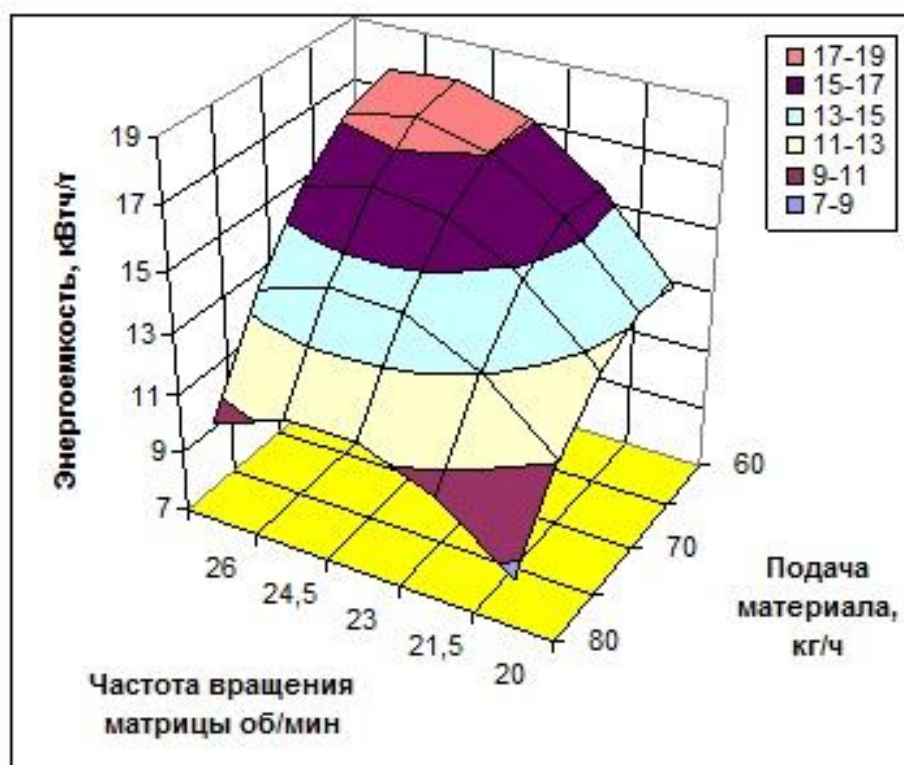


Рисунок 5 – Поверхность отклика, характеризующая энергоёмкость процесса гранулирования при среднем значении коэффициента высоты головки зуба



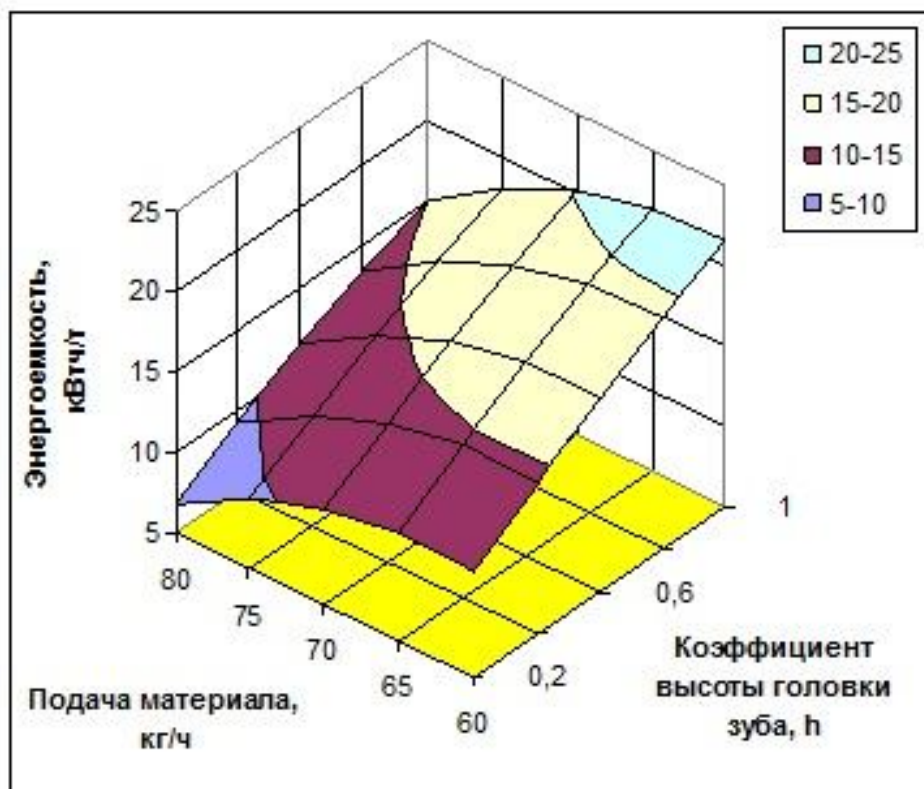


Рисунок 6 – Поверхность отклика, характеризующая энергоёмкость процесса гранулирования при средней частоте вращения матрицы

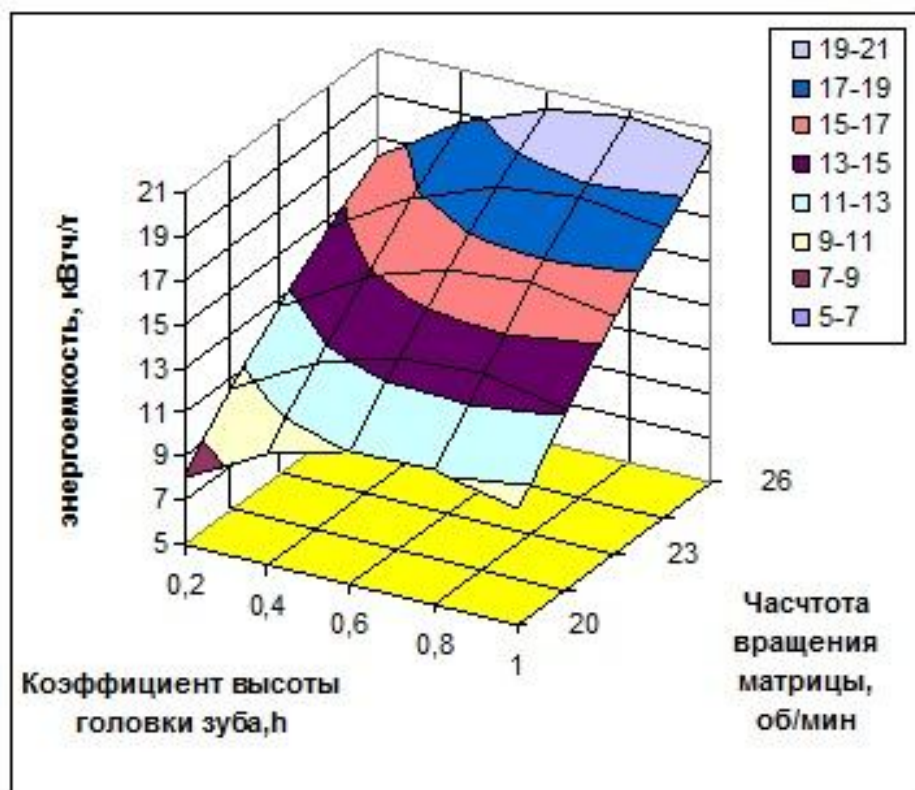


Рисунок 7 – Поверхность отклика, характеризующая энергоёмкость процесса гранулирования при средней подаче материала

Минимальная энергоёмкость соответствует минимальным значениям частоты вращения матрицы, коэффициенту высоты головки зуба и максимальной подаче.

Раскодированные уравнения выглядят следующим образом:

$$Q=185,52-43,39h-17,97n+0,93q+0,49hn+0,62hq+0,07nq+10,69h^2+1,11n^2-0,02q^2; \quad (3)$$

$$\mathcal{E}=-222,81+13,12h+11,53n+2,9q+0,41hn-0,11hq-0,02nq-3,06h^2-0,83n^2-0,02q^2, \quad (4)$$

где  $Q$  – производительность прессы, кг/ч;

$\mathcal{E}$  – энергоёмкость производства гранул, кВт ч/т;

$h$  – коэффициент высоты головки зуба, мм;

$n$  – частота вращения матрицы, об./мин.;

$q$  – подача материала, кг/ч.

Результаты эксперимента показали, что увеличение производительности гранулятора связано с повышением частоты вращения матрицы, увеличением высоты головки зуба и увеличением подачи корма.

Увеличение производительности с повышением частоты вращения матрицы происходит прямо пропорционально.

С увеличением высоты головки зуба производительность возрастает вначале линейно, затем в диапазоне  $h_a^* = 0,6-1$  ее рост замедляется. Объяснение состоит в том, что часть корма при заостренном зубе перемещается с одной стороны на другую, а в канал прессования вдавливается меньшая доля корма.

Энергоёмкость процесса гранулирования минимальна в области коэффициента высоты головки зуба  $h_a^* = 0,2-0,4$  м, частота вращения матрицы – 20-23 об./мин. Рост затрат энергии выявлен при увеличении частоты вращения матрицы.



### **Вывод.**

Рабочий орган шестеренного пресса в установленном диапазоне высоты головки зуба прессующего колеса реализует процесс сжатия корма по двум принципиальным воздействиям. В области малой высоты головки зуба осуществляется плунжерное воздействие на корм, поэтому гранула формируется небольшими порциями и с большой выдержкой сжатого корма в канале прессования. Получается небольшое количество гранул с большой прочностью. Энергоемкость процесса наименьшая.

При полнопрофильной головке зуба гранула формируется из больших порций. Энергоемкость процесса гранулирования большая из-за значительного радиуса действия сжимающей силы. Гранула формируется при воздействии на корм боковой поверхностью зуба. Плечо действия силы сжатия равно радиусу начальной окружности зубчатого колеса. Производительность гранулятора наибольшая.

Дальнейшие экспериментальные исследования необходимо переместить в зону наименьшей энергоемкости. Следовательно, дальнейший эксперимент надо провести в диапазоне коэффициента высоты головки зуба  $h_a^* = 0,2-0,4$ .

### **Список использованных источников**

1 Мельников, В. С. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / В. С. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рошин. – Л.: «Колос», 1980. – 168 с.

2 Щербина, В. И. Деформация корма в процессе деформации / В. И. Щербина. – Ростов н/Д: «Тера», 2002. – 104 с.

3 Щербина, В. И. Шестеренные грануляторы / В. И. Щербина, С. В. Щербина. – Ростов н/Д: «Тера», 2002. – 120 с.

---

**Ладыгин Евгений Александрович** – кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВПО «ДонГАУ»), доцент.

Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 4(08), 2012 г., [151-160]

Контактный телефон: 8908-193-09-12.

E-mail: [evgladigin@rambler.ru](mailto:evgladigin@rambler.ru)

**Ladygin Yevgeniy Aleksandrovich** – Candidate of Technical Sciences, Federal State Budget Educational Establishment of Higher Professional Education “Don State Agrarian University” (FSBEE HPE “DonSAU”), Associate Professor.

Contact telephone number: 8908-193-09-12.

E-mail: [evgladigin@rambler.ru](mailto:evgladigin@rambler.ru)