

УДК 674.08:662.818

Предельное напряжение сдвига древесных опилок, прессуемых между матрицей и роликом гранулятора*

Е.И. Панов¹, В.Ю. Полищук², В.П. Ханин²

¹ Оренбургский институт путей сообщения — филиал ФГБОУ ВПО СамГУПС, 460006, Оренбургская область, Оренбург, Российская Федерация, пр-д Коммунаров, д. 16-18.

² ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет», 460018, Оренбургская область, Оренбург, Российская Федерация, пр-т Победы, д. 13.

Critical shear stresses in the sawdust-filled workspace between the die and the roller of a pellet mill machine

E.I. Panov, V.Y. Polishchuk, V.P. Khanin

¹ Orenburg Branch of Samara State University of Railway Transport, proyezd Kommunarov, 16-18, 460006, Orenburg, Russian Federation.

² Orenburg State University (OSU, Pobedy ave., 13, 460018, Orenburg, Russian Federation.

@ e-mail: lysij@yandex.ru, kodster@mail.ru

i Задача определения физико-механических свойств гранулированных материалов, в частности, предельного напряжения сдвига, является актуальной для изучения технико-экономических параметров процесса получения древесных гранул. Существует математическая модель напряженного состояния полуфабриката в рабочем пространстве гранулятора, используемая для определения технико-экономических параметров гранулятора при гранулировании кормов, однако физико-механические свойства древесных опилок при гранулировании не изучены, что затрудняет возможность применения разработанной математической модели. С использованием результатов экспериментального определения на оригинальном лабораторном стенде нормальных к поверхности прессующего ролика гранулятора с кольцевой матрицей напряжений проведена идентификация математической модели напряженного состояния древесных опилок в зонах отставания и опережения клиновидного рабочего пространства гранулятора. Получены значения предельного напряжения сдвига древесных опилок при гранулировании, которые позволяют использовать математическую модель для параметрического синтеза прессующих механизмов грануляторов.

Ключевые слова: пресс-гранулятор, предельное напряжение сдвига, гранулы, клиновидное пространство.

i Determining the physical and mechanical properties of granular materials, in particular, critical shear stresses is a very important problem to be solved when studying the technical and economic parameters of the process of manufacturing wood pellets. There is a mathematical model of the stress state of semimanufactures in the granulator workspace that describes the technical and economic parameters of a feed pelleting machine. At the same time, the physical and mechanical properties of sawdust pellets are not studied, which makes it difficult to apply the developed mathematical model. The results of the experimental study of the stresses normal to the surface of the pressing roller of a pellet mill ma-

* Уточнение модели взаимодействия рабочих органов пресс-грануляторов с обрабатываемым материалом выполнено по соглашению № 10 с Министерством образования Оренбургской области. Рук. Е.И. Панов.

chine with an annular die were used to identify the mathematical model of the stress state of the sawdust in backward and forward creep zones of the wedge-shaped workspace of the pellet mill machine. The critical shear stress of the wood sawdust during pelleting is determined, which enables using the developed mathematical model for the parametric synthesis of the pressing mechanisms of sawdust pellet mill machines.

Keywords: pellet press, limiting tension detrusion, pellets, wedge-shaped workspace.

В XXI веке интенсивное развитие получила альтернативная энергетика, основанная на использовании нетрадиционных видов топлива. Одним из таких видов топлива являются гранулы из древесных опилок (pellets), производимые на грануляторах, ранее применявшихся для гранулирования кормов.

Оптимальное проектирование пресс-грануляторов для производства гранул из древесных опилок, используемых в качестве экологичного топлива в альтернативной энергетике [1–3], может быть основано на математическом моделировании процесса гранулирования. Были проведены исследования процесса экструдирования древесных опилок, например, [4, 5], однако в них как правило, отсутствует верификация математической модели, либо исследованы прессующие механизмы, которые отличаются от общепринятых.

Имеется опыт применения математической модели, основанной на описании напряженного состояния на контактных поверхностях рабочих органов — кольцевой матрицы и прессующего ролика [6]. Эта математическая модель была использована, например, при разработке мобильного комплекса по производству пеллет производительностью 150 кг/ч по соглашению № 13-г с Министерством образования Оренбургской области (рук. В.Г. Коротков, В.Ю. Полищук). Препятствием для использования математической модели [6] при гранулировании древесных опилок являлось отсутствие сведений о параметрах их предельного напряжения сдвига.

Цель работы — определение параметров предельного напряжения сдвига древесных опилок при гранулировании на основе экспериментального измерения нормальных напряжений на контактной поверхности прессующего ролика.

Как и ранее [6] будем полагать, что предельное напряжение сдвига определено зависимостью

$$\tau_T = \tau_{T0} \exp(\beta \sigma_c),$$

где τ_{T0} — предельное напряжение сдвига при атмосферном давлении; β — коэффициент,

учитывающий влияние всестороннего напряжения сжатия; σ_c — всестороннее напряжение сжатия.

Примем, как и ранее, для сжимающих напряжений положительное значение. Будем полагать, что на контактных поверхностях кольцевой матрицы и прессующего ролика в зонах отставания и опережения рабочего пространства касательные напряжения равны предельному напряжению сдвига τ_T .

Для экспериментального определения нормальных напряжений на поверхности прессующего ролика разработан лабораторный стенд на базе гранулятора ПГМ-05, основные параметры которого приведены ниже:

Диаметр фильер матрицы, мм	..... 10
Длина фильер матрицы, мм	..... 75
Количество фильер в матрице, шт.	..... 120
Диаметр рабочей поверхности матрицы, мм	.... 175
Ширина рабочей поверхности матрицы, мм	.... 44
Частота вращения матрицы, мин ⁻¹	..... 190
Рабочий диаметр ролика матрицы, мм	..... 136
Мощность двигателя, кВт	..... 11
Частота вращения двигателя, мин ⁻¹	..... 3000
Номинальное напряжение, В	..... 380
Передача от двигателя	..... Клиноременная
Передаточное число передачи	..... 5
Тип ремня	..... УА 1800
Число ремней, шт.	..... 5

Прессующий механизм лабораторного стенда с автономной тензометрической системой показан на рис. 1. Лабораторный стенд имеет горизонтальную кольцевую матрицу 1, установленную на планшайбе 2. На кольцевой матрице закреплен питающий конус 3. Внутри кольцевой матрицы на эксцентриковой оси установлен прессующий ролик 4. Электродвигатель 8 передает вращение кольцевой матрице, которая через слой полуфабриката вращает прессующий ролик.

Модуль обработки тензометрического сигнала закреплен на четырех шпильках 9, установленных в резьбовые отверстия в верхней крышке прессующего ролика. В состав модуля входят: усилитель сигналов Zet 412, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) Zet 220 [8],

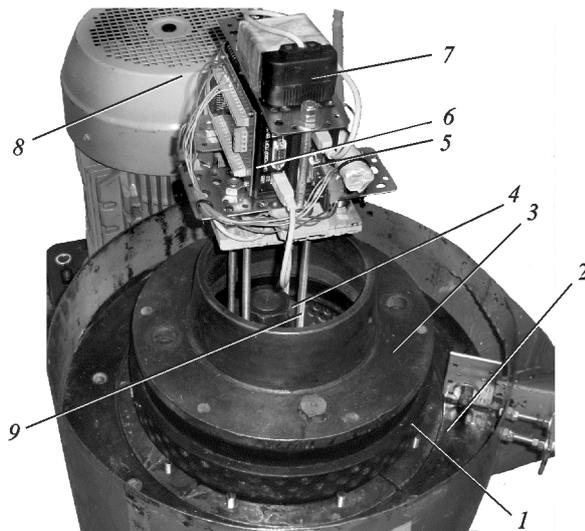


Рис. 1. Общий вид лабораторного стенда:
 1 — кольцевая матрица; 2 — планшайба; 3 — питающий конус;
 4 — прессующий ролик; 5 — усилитель сигналов;
 6 — АЦП; 7 — автономный блок питания;
 8 — электродвигатель; 9 — шпильки крепления тензометрического модуля

автономный блок питания 7. Полученные данные с тензометрических датчиков после обработки сохраняются на флэш-карте.

Схема прессующего ролика лабораторного стенда с установленными тензометрическими элементами представлена на рис. 2.

Стандартная конструкция прессующего ролика дополнена установленными в обечайке 6 прессующего ролика по скользящей посадке

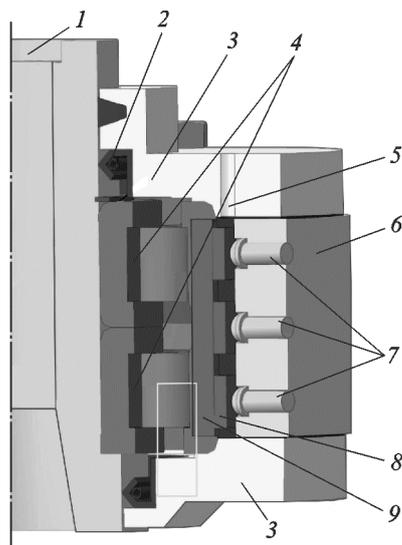


Рис. 2. Схема измерительного устройства в прессующем ролике:

- 1 — ось ролика; 2 — манжета; 3 — крышки подшипникового узла верхняя и нижняя; 4 — роликовые подшипники; 5 — кабель-канал от датчиков; 6 — обечайка; 7 — штифты; 8 — тензометрические пластины; 9 — опорная балочка

тремя тензометрическими штифтами 7, опорные головки которых соприкасаются соответственно с тремя тензометрическими пластинами 8 и предотвращают выпадение штифтов из обечайки.

Тензометрические пластины 8 оперты на полки упорной балочки 9, выполненной в виде швеллера. Балочка 9 помещена в пазу обечайки прессующего ролика 6. Стенкой балочка оперта на наружные кольца подшипников прессующего ролика 5, поэтому контактная с наружными кольцами подшипников стенка балочки выполнена по радиусу наружной посадочной поверхности подшипника.

Тензометрические датчики 2ФКП-5-200 приклеены клеем БФ2 ГОСТ 12172-74 на поверхность пластины 8, обращенную к полке опорной балочки 9. Эти датчики подвергались соответствующей термообработке.

Электрические проводники МГТФ 0,56 от тензодатчиков выведены к тензометрическому модулю через кабель-канал 5 в верхней крышке подшипникового узла 3. Тензометрические датчики подключены к тензометрическому модулю по мостовой схеме.

Тарировка тензометрической системы была проведена нагружением тензометрических пластин на поверенном прессе марки ПГР-10.

Геометрические параметры лабораторного стенда приведены на рис. 3. На рисунке видно, что нормальное напряжение, измеренное экспериментально на контуре прессующего роли-

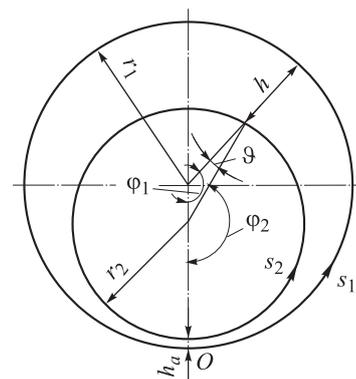


Рис. 3. Расчетная схема геометрических параметров рабочего пространства прессующего механизма:
 r_1 , r_2 — радиусы рабочих поверхностей кольцевой матрицы и прессующего ролика соответственно; O_{s1} и O_{s2} — оси криволинейных систем координат по рабочей поверхности кольцевой матрицы и прессующего ролика соответственно; φ_1 и φ_2 — углы поворота точек на поверхности матрицы и ролика, между которыми измеряется радиальная высота слоя полуфабриката h в прессующем механизме; θ — угол клина пространства между матрицей и роликом при радиальной высоте h ; h_a — минимальная высота слоя полуфабриката в прессующем механизме

ка, определено по координате s_2 , а в математической модели [6] нормальное напряжение определено по координате s_1 . Для того чтобы использовать экспериментальные результаты в математической модели необходимо связать координаты s_2 и s_1 . Пренебрегая проскальзыванием прессующего ролика относительно кольцевой матрицы из схемы, представленной на рис. 3, имеем условие

$$\frac{s_1}{r_1} + \vartheta = \frac{s_2}{r_2} \quad \text{или} \quad s_1 = r_1 \left(\frac{s_2}{r_2} - \vartheta \right). \quad (1)$$

Используя теорему косинусов и теорему синусов, угол ϑ выражаем через координату s_2 в виде

$$\vartheta = \arcsin \frac{\sin \frac{s_2}{r_2}}{\sqrt{1 + \frac{r_2}{r_1 - r_2 - h_a} \left(\frac{r_2}{r_1 - r_2 - h_a} + 2 \cos \frac{s_2}{r_2} \right)}}. \quad (2)$$

Математическую модель напряженного состояния полуфабриката между матрицей и прессующим роликом используем в виде, представленном в работе [9]. Зазор h между матрицей и прессующим роликом по координате s_1 с учетом обозначений на рис. 3 имеет вид

$$h = r_1 - (r_1 - r_2 - h_a) \cos \frac{s_1}{r_1} - \sqrt{r_2^2 - (r_1 - r_2 - h_a)^2 \sin^2 \frac{s_1}{r_1}}, \quad (3)$$

а угол ϑ выражен через координату s_1 зависимостью

$$\vartheta = \arcsin \left(\frac{r_1 - r_2 - h_a}{r_2} \sin \frac{s_1}{r_1} \right). \quad (4)$$

Распределение напряжений в зоне отстаивания рабочего пространства в математической модели рассчитывается по формуле

$$\sigma_s = -\frac{1}{\beta} \ln \left(1 + \beta \tau_{\tau 0} \int_{s_{10}}^{s_1} \Phi ds_1 \right), \quad (5)$$

где s_{10} — координата начала контакта прессующего ролика с полуфабрикатом.

Распределение напряжений в зоне опережения рабочего пространства в математической модели находится по формуле

$$\sigma_s = -\frac{1}{\beta} \ln \left[\exp(-\beta \sigma_{s_{1a}}) - \beta \tau_{\tau 0} \int_0^{s_1} \Phi ds_1 \right]. \quad (6)$$

Здесь $\sigma_{s_{1a}}$ — нормальное напряжение в рабочем пространстве с минимальной высотой h_a .

Коэффициент геометрических параметров для прессующих механизмов с внутренним контактом рабочих органов Φ определяется выражением

$$\Phi = \frac{2r_1 - h}{r_1 - h} + \operatorname{tg}^2 \vartheta \frac{r_1 - r_2 - h_a}{r_1} \sin \frac{s_1}{r_1} \times \left[1 + \frac{2(r_1 - r_2 - h_a) \cos \frac{s_1}{r_1}}{\sqrt{r_2^2 - (r_1 - r_2 - h_a)^2 \sin^2 \frac{s_1}{r_1}}} \right]. \quad (7)$$

Гранулированию подвергались сосновые опилки с модулем крупности 2...3 мм. Исходную влажность опилок определяли с использованием сушильного шкафа СЭШ-3МЭ по ГОСТ 16483.7-71. Затем опилки доувлажняли до влажности 10 % и выдерживали в замкнутом объеме в течение суток для равномерного распределения влаги в опилках. Исследования данных с тензодатчиков проводили после выхода лабораторного стенда на установившийся режим в течение 10 мин.

Анализ записей данных с тензометрических датчиков показывает, что измеряемые напряжения изменяются с постоянным периодом в течение установившегося процесса прессования. Поскольку флуктуации периода обнаружены не были, было сделано заключение, что проскальзыванием прессующего ролика относительно кольцевой матрицы в данном процессе можно пренебречь.

Протяженность эпюры экспериментально измеренных нормальных напряжений на поверхности прессующего ролика превышает половину длины окружности его рабочей поверхности. Поэтому было сделано заключение о полном заполнении рабочего пространства прессующего механизма полуфабрикатом и на основании этого определено положение координаты минимальной высоты слоя полуфабриката в прессующем механизме.

Обработка исходной диаграммы данных тензометрической системы в координатах «показания датчика — время» выполнялась следующим образом:

- с использованием тарировочного графика тензометрической системы и величины периода обращения прессующего ролика диаграмма перестроена в координатах «напряжения на поверхности ролика — координата s_2 »;

- исследуемый участок диаграммы напряжений протяженностью s_{20} разбит на 13 участков, начиная от координаты 0, причем протяжен-

ность участков 1–5 в 2 раза меньше, чем участков 6–13;

- на границах участков в точках s_{2i} , где $i = 0, 1, \dots, 13$, определены значения измеренных напряжений σ_i ;

- соответствующие пары значений s_{2i} и σ_i внесены в электронную таблицу MS Excel. По выражению (1) значения координат s_{2i} перестроены в координаты s_{1i} ;

- по полученным результатам, считая, что $\sigma_i = \sigma_{s_{1i}}$, средствами MS Excel построена диаграмма экспериментальной зависимости $\sigma_{s_1} = f(s_1)$ (рис. 4).

Граница зоны отставания с зоной выдавливания s_{1n0} и граница зоны опережения с зоной выдавливания s_{1n1} определены визуально по диаграмме экспериментально измеренных напряжений (см. рис. 4, кривая 1) как точки изменения кривизны диаграммы. Координаты s_{1n0} и s_{1n1} измерены средствами MS Excel.

Таким образом, протяженность зоны опережения определяется отрезком $[0; s_{1n1}]$, а протяженность зоны отставания — отрезком $[s_{10}; s_{1n0}]$.

Вычисление напряжений по формулам (5) и (6) ограничено тем, что интегралы в этих формулах не могут быть выражены в элементарных функциях, поэтому применяется численное интегрирование методом трапеций. Для этого отрезки $[0; s_{1n1}]$ и $[s_{10}; s_{1n0}]$ разбиты на n участков. В нашем случае $n = 10$. Нумерация участков идет соответственно от 0 к s_{1n1} и от s_{10} к s_{1n0} .

После перехода к интегральным суммам уравнения (5) и (6) для определения напряжений σ_{s_i} на границе i -го участка соответственно примут вид

$$\sigma_{s_i} = -\frac{1}{\beta} \ln \left(1 + \beta \tau_{t0} \sum_1^i \Phi_i \Delta s_1 \right), \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (8)$$

$$\sigma_{s_i} = -\frac{1}{\beta} \ln \left[\exp(-\beta \sigma_{s_{1a}}) - \beta \tau_{t0} \sum_1^i \Phi_i \Delta s_1 \right], \quad (9)$$

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

Коэффициенты Φ_i вычислены для середины i -го участка. Для зоны опережения в уравнении (8)

$$\Delta s_1 = \frac{s_{1n1}}{n}; \quad (10)$$

для зоны отставания в уравнении (9)

$$\Delta s_1 = \frac{s_{1n0} - s_{10}}{n}. \quad (11)$$

Верификация математической модели в зонах опережения и отставания, т. е. достаточно

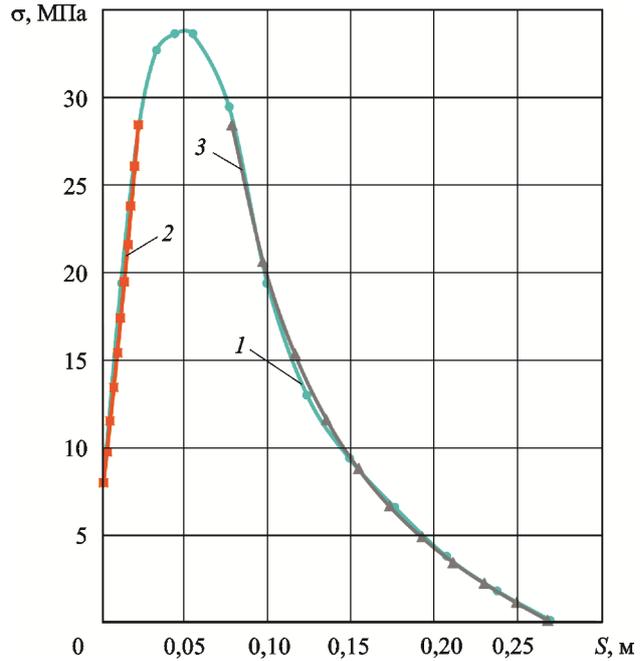


Рис. 4. Диаграммы напряженного состояния полуфабриката в рабочем пространстве прессующего механизма:

1 — экспериментально измеренные напряжения; 2, 3 — вычисленные напряжения соответственно в зонах опережения и отставания

точное совпадение диаграмм экспериментальных и вычисленных напряжений, как определение неизвестных внешних величин модели τ_{t0} , β и h_a является одновременно идентификацией данной математической модели. Цикл идентификации начинается с подбора величины β , которая определяет в основном кривизну диаграмм. Затем подбирается величина τ_{t0} , которая определяет верхнюю границу диаграмм. Наконец, подбором величины h_a выравниваются положения верхних границ диаграмм. Цикл повторяется до тех пор пока не достигается приемлемая величина совпадения экспериментальной и вычисленных диаграмм. Значения τ_{t0} и β получились одинаковыми для зон отставания и опережения.

Пример идентификации математической модели показан на рис. 4.

В результате обработки большого числа диаграмм получены следующие значения неизвестных внешних величин математической модели: $\tau_{t0} = (1,35 \pm 0,18)$ МПа; $\beta = 0,02$ МПа⁻¹; $h_a = 0,0040 \dots 0,0065$ м.

Выводы

1. В результате настоящего исследования получены значения параметров предельного

напряжения сдвига древесных опилок хвойных пород с влажностью 10 %.

2. Высокий коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 > 0,9$ позволяет использовать

полученные результаты при проектировании и модернизации пресс-грануляторов древесных опилок.

Литература

- [1] Гомонай М.В. *Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы*. Москва, ГОУ ВПО МГУЛ, 2006. 68 с.
- [2] Вибе К. *Биотопливо: перспективы, риски и возможности. Положение дел в области продовольствия и сельского хозяйства*. Рим, Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций, 2008. 145 с.
- [3] Крылов С.В. Рациональное производство топливных гранул. *Биоэнергетика*, 2008, № 2, с. 24–25.
- [4] Булатов И.А. *Разработка процесса прессового гранулирования мелкодисперсных сред на примере минеральных порошков и древесных отходов*. Автореферат дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2012. 25 с.
- [5] Родина Л.Н. *Обоснование параметров шестеренного пресса для гранулирования комбикормов*. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Зерноград, 2005. 19 с.
- [6] Карташов Л.П., Полищук В.Ю. *Системный синтез технологических объектов АПК*. Екатеринбург, УрО РАН, 1998. 185 с.
- [7] Василевская С.П., Полищук В.Ю., Соловых С.Ю. Силовое взаимодействие рабочих органов грануляторов с кольцевой матрицей. *Современные проблемы техники и технологии пищевых производств. Сб. ст. и докл. пятой Всерос. науч.-практ. конф. Исследования и достижения в области теоретической и прикладной химии. Экология. Продукты питания. В 2 ч. Ч. 1*. Барнаул, Алтайский гос. технич. университет им. Ползунова, 2011, с. 71–77.
- [8] *Программное обеспечение ZETLab. Руководство оператора. Ч. 1*. ЗТМС.00068-01 34. Москва, 2009. 227 с.
- [9] Панов Е.И., Полищук В.Ю., Ханин В.П., Фефелов Н.П., Медведева Ю.В. Напряженное состояние полуфабриката между рабочими органами пресс-гранулятора. *Вестник СамГУПС*, 2013, № 2(20), с. 32–37.

References

- [1] Gomonai M.V. *Proizvodstvo toplivnykh briкетов. Drevesnoe syr'e, oborudovanie, tekhnologii, rezhimy raboty* [Production of fuel briquettes. Wood raw materials, equipment, technologies, modes of operation]. Moscow, Moscow State Forest University publ., 2006. 68 p.
- [2] Vibe K. *Biotoplivo: perspektivy, riski i vozmozhnosti. Polozhenie del v oblasti prodovol'stviia i sel'skogo khoziaistva* [Biofuels: prospects, risks and opportunities. The State of Food and Agriculture]. Rim, Prodovol'stvennaia i sel'skokhoziaistvennaia organizatsiia Ob"edinenykh Natsii publ., 2008. 145 p.
- [3] Krylov S.V. Ratsional'noe proizvodstvo toplivnykh granul [Efficient production of fuel pellets]. *Bioenergetika* [The bioenergy]. 2008, no. 2, pp. 24–25.
- [4] Bulatov I.A. *Razrabotka protsessa pressovogo granulirovaniia melkodispersnykh sred na primere mineral'nykh poroshkov i drevesnykh otkhodov*. Diss. kand. tekh. nauk [The development process of press granulation of fine media for example, mineral powders and wood waste. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2012. 25 p.
- [5] Rodina L.N. *Obosnovanie parametrov shesterennogo pressa dlia granulirovaniia kombikormov*. Diss. kand. tekh. nauk [Justification gear parameters press for granulation of mixed fodders. Cand. tech. sci. diss.]. Zernograd, 2005. 19 p.
- [6] Kartashov L.P., Polishchuk V.Iu. *Sistemnyi sintez tekhnologicheskikh ob"ektov APK* [System synthesis of technological objects AIC]. Ekaterinburg, UrO RAN publ., 1998. 185 p.
- [7] Vasilevskaia S.P., Polishchuk V.Iu., Solovykh S.Iu. Silovoe vzaimodeistvie rabochikh organov granulatorov s kol'tsevoi matritsei [Force interaction of working bodies of the ring granulators matrix]. *Sovremennye problemy tekhniki i tekhnologii pishchevykh proizvodstv*:

- sbornik statei i dokladov piatoi vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Issledovaniia i dostizheniia v oblasti teoreticheskoi i prikladnoi khimii. Ekologiya. Produkty pitaniia»: v 2 chastiakh, chast' 1* [Modern problems of technique and technology of food production: a collection of articles and reports Fifth All-Russian Scientific-Practical Conference «Research and achievements in the field of Pure and Applied Chemistry. Ecology. Food»: in 2 parts, Part 1]. Barnaul, Polzunov Altai State Technical University publ., 2011, pp. 71–77.
- [8] *Programmnoe obespechenie ZETLab. Rukovodstvo operatora. Ch. 1* [Software Zetlab. Operator's Manual Part 1]. ZTMS.00068-01 34. Moscow, Zelenograd, JSC «ZET» publ., 227 p.
- [9] Panov E.I., Polishchuk V.Iu., Khanin V.P., Fefelov N.P., Medvedeva Iu.V. Napriazhennoe sostoianie polufabrikata mezhdru rabochimi organami press-granulirovannogo [Stress condition of the half-finished food between the working elements of the press-granulator]. *Vestnik SamGUPS* [Bulletin SamGUPS]. 2013, no. 2(20), pp. 32–37.

Статья поступила в редакцию 01.12.2014

Информация об авторах

ПАНОВ Евгений Игоревич (Оренбург) — старший преподаватель кафедры общеобразовательных и профессиональных дисциплин. Оренбургский институт путей сообщения – филиал ФГБОУ ВПО СамГУПС (ОРИПС, 460006, Оренбургская область, Оренбург, Российская Федерация, пр-д Коммунаров, д. 16-18, e-mail: lysij@yandex.ru).

ПОЛИЩУК Владимир Юрьевич (Оренбург) — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой машин и аппаратов химических и пищевых производств. ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет» (ОГУ, 460018, Оренбургская область, Оренбург, Российская Федерация, пр-т Победы, д. 13, e-mail: kodster@mail.ru).

ХАНИН Виктор Петрович (Оренбург) — кандидат технических наук, доцент кафедры машин и аппаратов химических и пищевых производств ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет» (ОГУ, 460018, Оренбургская область, Оренбург, Российская Федерация, пр-т Победы, д. 13, e-mail: kodster@mail.ru).

Information about the authors

PANOV Evgeniy Igorevich (Orenburg) — Senior Lecturer of «General Education and Vocational Subjects» Department. Orenburg Branch of Samara State University of Railway Transport (OrIPS, proyezd Kommunarov, 16-18, 460006, Orenburg, Russian Federation, e-mail: lysij@yandex.ru).

POLISHCHUK Vladimir Yur'evich (Orenburg) — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of «Machines and Devices of Chemical and Food Industries» Department. Orenburg State University (OSU, Pobedy ave., 13, 460018, Orenburg, Russian Federation, e-mail: kodster@mail.ru).

KHANIN Viktor Petrovich (Orenburg) — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of «Machines and Devices of Chemical and Food Industries» Department. Orenburg State University (OSU, Pobedy ave., 13, 460018, Orenburg, Russian Federation, e-mail: kodster@mail.ru).