

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФОРМОВАНИЯ ВЯЗКО-ПЛАСТИЧНОГО МАТЕРИАЛА В ФИЛЬЕРАХ ПЛОСКОМАТРИЧНОГО ГРАНУЛЯТОРА

М. В. Севостьянов, А. В. Осокин

*Кафедра «Технологические комплексы, машины и механизмы»,
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический
университет им. В. Г. Шухова», г. Белгород, Россия; msev31@mail.ru*

Ключевые слова: канал формования; плоскоматричный гранулятор; техногенные материалы; фильера.

Аннотация: Представлены аналитические исследования процесса движения вязко-пластичного материала по цилиндрическому каналу фильеры с конической заходной частью. Полученные основные выражения, характеризующие данный процесс: уравнение сопротивления канала формования, выражение для определения его длины, изменения осевого давления и бокового распора представляют научный интерес в области компактирования вязко-пластичных техногенных материалов с различными физико-механическими характеристиками. Определено направление дальнейших теоретических исследований. Актуальность статьи обусловлена установлением закономерностей протекания процесса уплотнения дисперсных материалов в цилиндрическом канале фильеры пресс-матрицы в зависимости от внешних воздействий. Полученные аналитические выражения рекомендуется использовать при проектировании новых образцов плоскоматричных грануляторов.

Введение

При утилизации техногенных материалов возможно получение широкого ассортимента продукции методом компактирования (формования). Известен и широко используется модельный ряд агрегатов, различных по конструктивно-технологическим особенностям для формования материалов. Выбор оборудования зависит от технологии производства основной продукции и исходных свойств сырья. Такие физико-механические характеристики, как вязкость, анизотропность материалов, насыпная плотность, коэффициент уплотнения и другие существенно влияют на процесс переработки шихты, в том числе и на процесс формования материалов в машинах для компактирования (брикетеры, экструдеры, грануляторы, прессы и др.), который подчиняется общим закономерностям. Однако процесс продвижения материала внутри канала формования (фильеры) малоизучен. Его изучение определяют количественные и качественные характеристики выпускаемой продукции: прочность, плотность гранул, производительность гранулятора, энергоёмкость процесса формования и др.

Постановка задачи. Образование гранул при экструзионном формовании происходит под действием всестороннего сжатия при прохождении перерабатываемого материала через каналы определенного профиля. Форма канала может быть различной и определяется физико-механическими характеристиками перера-

батываемого материала. При этом механизм деформации материала под действием внешних сил, вне зависимости от физико-механических и реологических характеристик, подчиняется общим закономерностям. В их основе лежит процесс изменения под внешним воздействием дислокации структуры (взаиморасположения твердой, жидкой и газообразной фаз) и соответствующих реологических свойств материала [1 – 5]. Вышеуказанный механизм деформации материала в процессе воздействия на него со стороны внешней среды подлежит детальному изучению и аналитическому описанию. Уплотнение материала в результате его постадийной деформации необходимо рассматривать как с ракурса внешнего воздействия рабочих органов формирующего оборудования, так и со стороны сил, действующих внутри канала.

Анализ условий уплотнения техногенных материалов в фильере

Наиболее распространены машины непрерывного действия (грануляторы и штемпельные брикетные прессы), в которых материал проходит через рабочие органы непрерывно, с открытыми каналами формования. В открытом канале противодавление создается подвижным упором, которым служат ранее спрессованные порции материала. Противодавление, обеспечивающее сжатие материала вдоль оси канала, возникает в результате трения материала о стенки канала.

Сопротивление канала определяет плотность получаемых гранул: чем выше сопротивление канала, тем большее давление необходимо приложить к материалу для его проталкивания и тем выше плотность получаемых гранул. Разными исследователями предлагались различные варианты математического описания данного процесса. Анализируя эти уравнения, автор работы [6] пришел к выводу, что наиболее точно физическую сущность процесса описывает уравнение [6, 7]

$$P = C \left(e^{a(\rho - \rho_0)} - 1 \right), \quad (1)$$

где C – постоянный параметр, Па; a – эмпирический параметр, характеризующий свойства материала, $\text{м}^3/\text{кг}$; ρ_0 , ρ – исходная насыпная плотность пресуемого материала и его плотность в сформованном состоянии соответственно, $\text{кг}/\text{м}^3$.

При $P = C(e - 1)$ плотность $\rho = \rho_0 + 1/a$. Величина $1/a$ представляет собой приращение начальной плотности материала при данном давлении.

Значения эмпирических параметров C и a зависят от структурно-механических свойств материала (начальной плотности, влажности, температуры, крупности частиц) и определяют собой сопротивляемость материала сжатию. Указанные параметры находятся экспериментально для каждого материала.

При равномерной подаче материала в камеру гранулирования за время одного оборота пресс-валка вокруг оси водила (приводного вала) на рабочей поверхности пресс-матрицы образуется кольцевой слой материала высотой H с насыпной плотностью ρ_0 (рис. 1). Накатывающийся на материал пресс-валок сжимает слой материала между сближающимися рабочими поверхностями пресс-матрицы и пресс-валка. В грануляторах с кольцевой и плоской пресс-матрицей, в отличие от штемпельных прессов, камера сжатия материала вынесена за пределы канала формования и расположена в зоне захвата материала $\beta_{\text{сж}}$ (см. рис. 1, a , дуга AB). Давление сжатия при этом возрастает по кривой A_1B_1 от нуля в точке A_1 до максимального значения P в точке B_1 . Кривая A_1B_1 описывается уравнением (1).

Преодолевая сопротивление канала, осевое давление со стороны рабочего органа (пресс-валка) уменьшается. Для определения закона изменения осевого давления в канале переменного сечения рассмотрим равновесие выделенного слоя материала толщиной dx на небольшой глубине x_1 на первом участке (коническая часть) и глубине x_2 – на втором участке (цилиндрическая часть) (см. рис. 1, a). На него

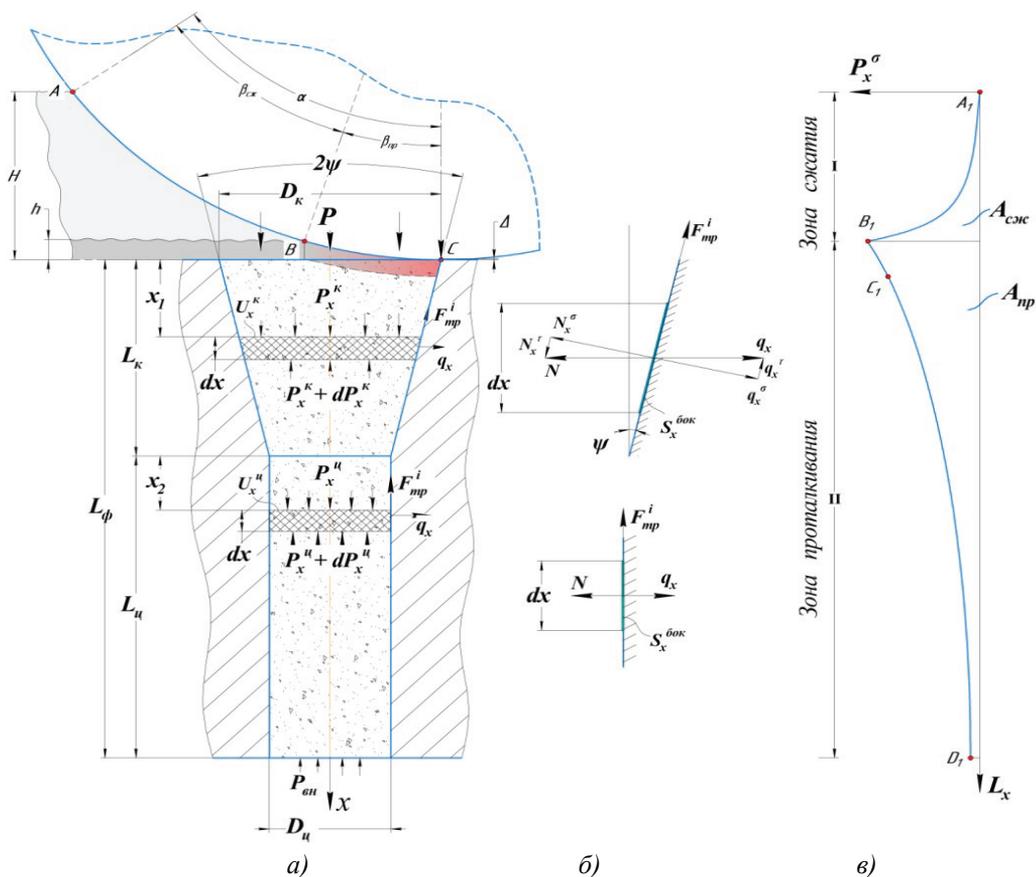


Рис. 1. Схема к расчету усилия экструдирования материала через фильеру с переменным сечением:

а – условие равновесия элементарного слоя материала; *б* – схема сил; *в* – график изменения давления экструдирования

действуют осевые давления: над слоем – P_x , под слоем – давление $(P_x + dP_x)$. Кроме того, в поперечном сечении по периметру U_x слоя действует боковое давление (боковой распор) q_x и обусловленная им сила внешнего трения $F_{тр}^i$ материала о поверхность канала формования.

В общем виде величина бокового распора q_x определяется по выражению [7]

$$q_x = \xi P_x + q_0, \quad (2)$$

где ξ – коэффициент бокового давления (бокового распора), $\xi = \mu / (1 - \mu) = \text{const}$ [6]; μ – коэффициент Пуассона; P_x – осевое давление, Па; q_0 – остаточное боковое давление, Па.

Первое слагаемое ξP_x представляет собой боковое давление, вызываемое осевой нагрузкой на материал, второе q_0 выражает остаточное боковое давление, обусловленное упругим расширением спрессованного материала. Эта часть бокового давления от осевого не зависит.

При гранулировании порошковых строительных материалов используют зависимость [1]

$$q_x = \xi P_x. \quad (3)$$

Значение ξ определяем по формуле [8]

$$\xi = \frac{\sigma_3}{\sigma_1} = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi},$$

где σ_1, σ_3 – главные нормальные напряжения, Па; φ – эффективный угол внутреннего трения, °.

Составим уравнения равновесия элементарного выделенного слоя в конической и цилиндрической частях соответственно:

$$P_x S_x - (P_x + dP_x) S_x - f_i q_x U_x^k \cos \psi dx - q_x U_x^k \sin \psi dx + q_x U_x^k \operatorname{tg} \psi \cos \psi dx = 0; \quad (4)$$

$$P_x S_x - (P_x + dP_x) S_x - f_i (\xi P_x + q_0) U_x^H dx = 0, \quad (5)$$

где S_x – площадь поперечного сечения канала на глубине x , м²; f_i – коэффициент внешнего трения; q_x – величина бокового давления, Па; U_x – периметр поперечного сечения слоя на глубине x , м; ψ – угол наклона стенок канала к ее оси, °.

При этом имеем:

– коническая часть:

$$S_{x \text{бок}} = \frac{U_x^k dx}{\cos \psi}; \quad (6)$$

$$N^\sigma = q_x^\sigma S_{x \text{бок}} = q_x U_x^k dx; \quad (7)$$

$$N^\tau = q_x^\tau S_{x \text{бок}} = q_x U_x^k \operatorname{tg} \psi dx; \quad (8)$$

$$F_{\text{тр}}^i = f_i N^\sigma = q_x U_x^k dx; \quad (9)$$

– цилиндрическая часть:

$$S_{x \text{бок}} = U_x^H dx; \quad (6a)$$

$$N^\sigma = q_x S_{x \text{бок}} = (\xi P_x + q_0) U_x^H dx; \quad (7a)$$

$$F_{\text{тр}}^i = f_i N = f_i (\xi P_x + q_0) U_x^H dx, \quad (9a)$$

где $S_{x \text{бок}}$ – площадь боковой поверхности элементарного слоя, м²; q_x^σ , q_x^τ – нормальная и касательная составляющие бокового распора соответственно, Па; N^σ , N^τ – нормальная и касательная составляющие реакции стенки канала фильеры N соответственно, Н.

Разделяем переменные и интегрируем выражения (4) и (5):

– коническая часть

$$\int_P^{P_1} \frac{dP_x}{\xi P_x + q_0} = - \int_0^{x_1} \frac{4 f_i \cos \psi}{D_k - 2 x_1 \operatorname{tg} \psi} dx; \quad (10)$$

– цилиндрическая часть

$$\int_{P_1}^{P_2} \frac{dP_x}{q_0 + \xi P_x} = - \int_0^{x_2} f_i \frac{U_x^H}{S_x} dx. \quad (10a)$$

После соответствующих преобразований получим уравнения изменения осевого давления по длине конической и цилиндрической частей фильеры соответственно:

$$P_x^k = \left(P + \frac{q_0}{\xi} \right) \left(\frac{D_k - 2x_1 \operatorname{tg} \psi}{D_k} \right)^{\frac{2f_i \cos \psi}{\operatorname{tg} \psi} \xi} - \frac{q_0}{\xi}, \quad (11)$$

$$P_x^u = \left(P_1 + \frac{q_0}{\xi} \right) e^{-\xi f_i \frac{4}{D_u} x_2} - \frac{q_0}{\xi}, \quad (12)$$

где D_k – диаметр входного сечения конической части канала, м; P – нормальная составляющая давления со стороны формирующего вала, Па; P_1 – давление на входе в цилиндрическую часть, Па.

Закономерность изменения бокового давления q_x по длине конической и цилиндрической частей канала можно определить, подставив в уравнение (2) значение P_x из уравнения (11) и (12) соответственно. После преобразований получим:

$$q_x^k = (\xi P + q_0) \left(\frac{D_k - 2x \operatorname{tg} \psi}{D_k} \right)^{\frac{2f_i \cos \psi}{\operatorname{tg} \psi} \xi}; \quad (13)$$

$$q_x^u = (\xi P_1 + q_0) e^{-\xi f_i \frac{4}{D_u} x_2}. \quad (14)$$

Решая уравнение (11) относительно P при $x_1 = L_k$ и $P_x = P_{в.к}$ (так как есть сопротивление со стороны цилиндрической части) получим выражение для определения сопротивления конической части фильеры

$$P_k = \left(P_{в.к} + \frac{q_0}{\xi} \right) \left(\frac{D_k}{D_u} \right)^{\frac{2f_i \cos \psi}{\operatorname{tg} \psi} \xi} - \frac{q_0}{\xi}, \quad (15)$$

где $P_{в.к}$ – давление на выходе из конической части фильеры, Па; D_u – диаметр цилиндрической части фильеры, м.

Аналогичным образом определяем сопротивление цилиндрической части фильеры из выражения (12) при $x_2 = L_u$ и $P_x = 0$ (так как противодействие на выходе из фильеры отсутствует)

$$P_u = \frac{q_0}{\xi} \left[e^{\xi f_i \frac{4}{D_u} L_u} - 1 \right]. \quad (16)$$

Тогда полное сопротивление фильеры получим, подставив в (15) вместо $P_{в.к}$ правую часть из выражения (16). После соответствующих преобразований имеем

$$P_\Phi = \frac{q_0}{\xi} \left[e^{4\xi f_i \frac{L_\Phi - L_k}{D_u} \left(\frac{D_k}{D_u} \right)^{\frac{2f_i \cos \psi}{\operatorname{tg} \psi} \xi} - 1} \right]; \quad (17)$$

где L_Φ – длина фильеры, м.

Сопrotивление фильеры, полученное по выражению (17), есть противодавление, которое необходимо для получения гранул заданной плотности ρ .

Решая совместно уравнения (1) и (17) относительно L_{ϕ} , получаем

$$L_{\phi} = \frac{D_{\text{ц}}}{(1-n)4f_i\xi} \ln \left[\left[\frac{C\xi}{q_0} (e^{a(\rho-\rho_0)} - 1) + 1 \right] \left(\frac{D_{\text{ц}}}{D_{\text{к}}} \right)^{\frac{2f_i \cos \psi}{\text{tg} \psi} \xi} \right] \quad (18)$$

где n – относительная длина конической части $L_{\text{к}}$, выраженная в долях от общей длины фильеры L_{ϕ} . Например, $n = 0,2$ означает, что длина конической части составляет 20 % от общей длины фильеры, при $n = 0,35$ – соответственно 35 %.

Длина канала фильеры L_{ϕ} , определенная по (18), обеспечивает получение заданной плотности ρ сформованных гранул.

В выражении (18) видно, что длина канала фильеры пропорциональна начальной плотности шихты ρ_0 . Чем больше будет начальная плотность прессуемого материала, тем меньше давление необходимо приложить со стороны пресс-валка для получения плотности ρ готовой гранулы, и тем меньше должно быть сопротивление канала формования и, как следствие, меньше должна быть длина фильеры L_{ϕ} . Это, в свою очередь, снижает металлоемкость и энергозатраты гранулятора. Отсюда закономерен вопрос о необходимости наличия в конструкции гранулятора дополнительного устройства для предуплотнения исходной шихты.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработана конструкция плоскоматричного гранулятора с устройством для предварительного уплотнения материала [9]. Разработанный агрегат (рис. 2) наиболее

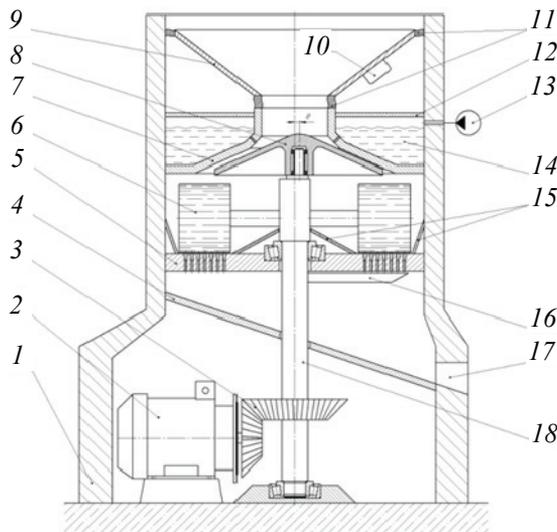


Рис. 2. Гранулятор волокнистых материалов:

1 – корпус; 2 – электродвигатель; 3 – механическая передача; 4 – наклонный стол; 5 – плоская неподвижная пресс-матрица; 6 – прессующие вальцы; 7 – наружный неподвижный конус; 8 – внутренний подвижный конус; 9 – загрузочная воронка; 10 – высокочастотный генератор; 11 – упругие элементы; 12 – герметизирующая крышка; 13 – насос; 14 – резервуар; 15 – наклонные борта; 16 – нож для срезания гранул; 17 – выгрузочное отверстие; 18 – вал

целесообразно использовать при экструдировании материалов с низкой насыпной плотностью ($\rho_0 \leq 200 \dots 300 \text{ кг/м}^3$), таких как отходы перлитового, вермикулитового производства – при получении адсорбентов; целлюлозно-бумажных отходов (ЦБО) – при производстве гранулированных стабилизирующих добавок (ГСД) щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) и др. [10].

Рассмотренный процесс истечения материала по каналам формования реализуется чаще всего при переработке вязко-пластичных шихт строительной отрасли. Однако с появлением нового вида дорожных покрытий – щебеночно-мастичных асфальтобетонов возникла потребность в производстве ГСД как одного из важных компонентов смеси. Основу ГСД составляют тонкоизмельченные техногенные волокнистые материалы – ЦБО.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что характер движения материалов ввиду его специфических свойств (малая сыпучесть и насыпная плотность, высокие влагопоглощение и коэффициент внутреннего трения, повышенная склонность к слеживаемости, неравномерное распределение материала по рабочей камере машины и др.) отличается от рассмотренного выше.

Процесс экструдирования волокнистых материалов требует учета вышеуказанных параметров, а также таких закономерностей, как неравномерного распределения скоростного потока по сечению фильеры (с максимальным его значением по оси фильеры), повышенных значений коэффициентов внутреннего и внешнего трения и др. Указанные факторы учтены при совершенствовании конструкции плоскоматричного гранулятора и технологических режимов его работы.

Выводы

В результате теоретических исследований процесса формования вязко-пластичного материала в фильерах плоскоматричного гранулятора получены аналитические зависимости, позволяющие определять значения сопротивления материала при его экструдировании, геометрические параметры фильер, соотношения отдельных частей их профиля и др. Полученные уравнения показывают, что сопротивление формирующего канала с конической заходной частью изменяется по степенной зависимости и зависит от геометрических параметров канала ($D_k, D_{\text{ц}}, \psi, L_k, L_{\text{ц}}$) и физико-механических свойств (f_i и ξ) экструдруемой шихты.

С учетом проведенных теоретических исследований и установленных закономерностей разработана патентозащищенная конструкция специального устройства для предуплотнения техногенных волокнистых материалов с низкой насыпной массой.

Работа выполнена в рамках Программы развития опорного университета на базе ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова».

Список литературы

1. Севостьянов, М. В. Пресс-валковый экструдер для формования техногенных порошкообразных материалов : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.13 / Севостьянов Максим Владимирович. – Белгород, 2006 – 250 с.
2. Фадеева, В. С. Формирование структуры пластичных паст строительных материалов при машинной переработке / В. С. Фадеева. – М. : Стройиздат, 1972. – 223 с.

3. Технические основы переработки и утилизации техногенных материалов / В. С. Севостьянов [и др.]. – Белгород : Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2011. – 268 с.
4. Булатов, И. А. Разработка процесса прессового гранулирования мелкодисперсных сред на примере минеральных порошков и древесных отходов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.17.08, 05.02.13 / И. А. Булатов. – М., 2012 – 19 с.
5. Севостьянов, М. В. Расчет и проектирование оборудования для компактирования техногенных материалов / М. В. Севостьянов. – Белгород : Изд-во БГТУ, 2017. – 205 с.
6. Мельников, С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм : учеб. пособие / С. В. Мельников. – Л. : Колос, 1978. – 560 с.
7. Кучинская, З. М. Оборудование для сушки, гранулирования и брикетирования кормов / З. М. Кучинская, В. И. Особов, Ю. Л. Фрегер. – М. : Агропромиздат, 1988. – 208 с.
8. Машины и аппараты химических производств: примеры и задачи : учеб. пособие / И. В. Доманский, В. П. Исаков, Г. М. Островский [и др.] ; под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л. : Машиностроение, 1982. – 384 с.
9. Полезная модель к патенту 135539 Российская Федерация, МПК В01J 2/20. Гранулятор волокнистых материалов / Севостьянов М. В., Ильина Т. Н., Осокин А. В., Севостьянов В. С., Сабитов Р. А. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «БГТУ им. В. Г. Шухова». – № 2013130468/05 ; заявл. 02.07.2013 ; опубл. 20.12.2013, Бюл. № 35. – 2 с.
10. Ресурсосберегающий технологический комплекс для производства гранулированных стабилизирующих добавок щебеночно-мастичного асфальтобетона / М. В. Севостьянов [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2016. – Т. 22, № 2. – С. 272 – 279. doi: 10.17277/vestnik.2016.02.pp.272-279

Analytical Studies of the Process of Molding a Viscous-Plastic Material in the Spinnerets of a Flat-Matrix Granulator

M. V. Sevostyanov, A. V. Osokin

*Department of Technological Complexes, Machines and Mechanisms,
V.G. Shukhov Belgorod State Technological University, Belgorod, Russia;
msev31@mail.ru*

Keywords: channel molding; flat matrix granulator; man-made materials; die.

Abstract: The paper presents analytical studies of the process of the movement of a visco-plastic material along a cylindrical channel of the spinneret with a tapered end. The basic expressions characterizing this process – the equation of formation channel resistance, the expression for determining its length, changes in axial pressure and lateral spread – are of scientific interest in the field of compaction of viscous-plastic man-made materials with different physical and mechanical characteristics. The direction of further theoretical studies is outlined. The relevance of the article is due to the establishment of the laws governing the process of compacting dispersed materials in the cylindrical channel of the die of the press matrix, depending on external influences. The obtained analytical expressions are recommended to be used when designing new samples of flat-matrix granulators.

References

1. Sevost'yanov M.V. *PhD Dissertation (Technical)*, Belgorod, 2006, 250 p. (In Russ.)

2. Fadeyeva V.S. *Formirovaniye struktury plastichnykh past stroitel'nykh materialov pri mashinnoy pererabotke* [Formation of the structure of plastic pastes of building materials during machine processing], Moscow: Stroyizdat, 1972, 223 p. (In Russ.)
3. Sevost'yanov V.S., Shinkarev L.I., Sevost'yanov M.V., Makridin A.A., Solopov N.V. *Tekhnicheskiye osnovy pererabotki i utilizatsii tekhnogennykh materialov* [Technical basis for the processing and disposal of man-made materials], Belgorod: Izdatel'stvo BGTU im. V. G. Shukhova, 2011, 268 p. (In Russ.)
4. Bulatov I.A. *Extended abstract of candidate's of technical thesis*, Moscow, 2012, 19 p. (In Russ.)
5. Sevost'yanov M.V. *Raschet i proyektirovaniye oborudovaniya dlya kompaktirovaniya tekhnogennykh materialov* [Calculation and design of equipment for compacting man-made materials], Belgorod: Izdatel'stvo BGTU, 2017, 205 p. (In Russ.)
6. Mel'nikov S.V. *Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya zhivotnovodcheskikh ferm* [Mechanization and automation of livestock farms], Leningrad: Kolos, 1978, 560 p. (In Russ.)
7. Kuchinskas Z.M., Osobov V.I., Freger Yu.L. *Oborudovaniye dlya sushki, granulirovaniya i briketirovaniya kormov* [Equipment for drying, granulating and briquetting feed], Moscow: Agropromizdat, 1988, 208 p. (In Russ.)
8. Domanskiy I.V., Isakov V.P., Ostrovskiy G.M. [et al.], Sokolov V.N. [Ed.]. *Mashiny i apparaty khimicheskikh proizvodstv: primery i zadachi* [Machines and equipment for chemical production: examples and objectives. Training commander], Leningrad: Mashinostroyeniye, 1982, 384 p. (In Russ.)
9. Sevost'yanov M.V., Il'ina T.N., Osokin A.V., Sevost'yanov V.S., Sabitov R.A. *Granulyator voloknistykh materialov* [Granulator fibrous materials], Russian Federation, 2013, Poleznaya model' k pat. 135539. (In Russ.)
10. Sevost'yanov M.V., Il'ina T.N., Kuznetsova I.A., Osokin A.V., Martakov I.G. [Resource-saving technological complex for the production of granulated stabilizing additives of crushed stone-mastic asphalt concrete], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2016, vol. 22, no. 2, pp. 272-279, doi: 10.17277/vestnik.2016.02.pp.272-279 (In Russ., abstract in Eng.)

Analytische Untersuchungen des Formprozesses des viskos-elastischen Kunststoffes in Spinndüsen des Flachmatrix-Granulators

Zusammenfassung: Es sind analytische Untersuchungen des Bewegungsprozesses des viskos-plastischen Materials in einem zylindrischen Kanal der Spinndüse mit konisch zulaufendem Ende vorgestellt. Die erhaltenen Hauptausdrücke, die diesen Prozess charakterisieren: Die Gleichung des Formationskanalwiderstandes, der Ausdruck zur Bestimmung seiner Länge, Änderungen des axialen Drucks und der seitlichen Verteilung sind auf dem Gebiet der Verdichtung von viskosen Kunststoffen mit unterschiedlichen physikalischen und mechanischen Eigenschaften von wissenschaftlichem Interesse. Die Richtung weiterer theoretischer Studien ist bestimmt. Die Aktualität des Artikels beruht auf der Festlegung der Gesetze, die den Prozess des Verdichtens dispergierter Materialien im zylindrischen Kanal der Spinndüse der Pressmatrix abhängig von äußeren Einflüssen regeln. Die erhaltenen analytischen Ausdrücke werden beim Entwerfen der neuen Muster der Flachmatrix-Granulatoren empfohlen.

Études analytiques du processus du moulage des matières plastiques visco-visqueuses dans les granulateurs à matrice plate

Résumé: Sont présentées les études analytiques du processus du déplacement du matériau visco-plastique sur le canal cylindrique de la filière avec une partie conique. Les principales expressions qui caractérisent ce processus sont: l'équation de la résistance du canal de formage, l'alignement pour déterminer sa longueur, les variations de la pression axiale et de la vitesse latérale; ils présentent un intérêt scientifique dans le domaine de la compactage des matériaux technogènes visco-plastiques ayant des caractéristiques physico-mécaniques différentes. Est définie la direction ultérieure des études théoriques. L'actualité de l'article est due à l'installation de la régularité du processus de compactage des matériaux dispersés dans le canal cylindrique de la filière de la matrice de presse en fonction des influences extérieures. Il est recommandé d'utiliser les expressions analytiques obtenues lors de la conception de nouveaux échantillons de granulateurs à matrice plate.

Авторы: *Севостьянов Максим Владимирович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологические комплексы, машины и механизмы»; *Осокин Антон Владиславович* – аспирант кафедры «Технологические комплексы, машины и механизмы», ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», г. Белгород, Россия.

Рецензент: *Уваров Валерий Анатольевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теплогасоснабжение и вентиляция», ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», г. Белгород, Россия.