

УДК 621.867.4

А.Б. Капранова, А.Е. Лебедев, А.В. Дубровин, А.А. Петров**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВАЛКОВО-ЛЕНТОЧНОГО УПЛОТНИТЕЛЯ СЫПУЧЕЙ СМЕСИ СО СФЕРИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕЙ**

Предложен способ оценки производительности валково-ленточного устройства для деаэрации порошково-зернистой смеси с целью получения уплотненных гранул-сфер. Гранулы предназначены для формирования асфальтобетонных смесей составляющих битума и минерального порошка из доломитовых пород. Согласно блок-схеме методика включает расчет интегральной характеристики процесса в зависимости от требуемой степени уплотнения продукта, физико-механических характеристик компонентов смеси, их массовых концентраций, а также конструктивных и режимных параметров. Приведены результаты выполнения примера расчета.

Процесс, деаэрация, дисперсная среда, несущая фаза, производительность, блок-схема, физико-механические характеристики, компоненты, смесь, порозность, концентрация, коэффициент динамического уплотнения, конструктивные и режимные параметры уплотнителя.

A.B. Kapranova, A.E. Lebedev, A.E. Dubrovin, A.A. Petrov**THE DETERMINATION OF THE PRODUCTIVITY OF CYLINDER-BELT COMPRESSOR OF FRIABLE MIXTURE WITH SPHERICAL MATRIX**

A method for assessing the performance roll-tape device for deaeration of a powder, granular mixture to produce compacted granules of spheres. Pellets are designed to form asphalt mixes components of bitumen and mineral dust from the dolomitic rocks. According to the flowchart method includes calculating the integral characteristics of the process depending on the desired degree of compaction of the product, the physical and mechanical characteristics of the mixture components, their mass concentrations, as well as design and operational parameters. This example shows the results of the calculation.

Process, deaeration, dispersion media, carrier phase, performance is a block diagram of physical and mechanical characteristics, components, composite, porosity, density, coefficient of dynamic compaction, structural and operations parameters seal.

Асфальтобетонная промышленность нуждается в совершенствовании оборудования для получения битумосодержащих гранул. Проблема транспортирования битума, как дорогостоящего материала, обладающего повышенными адгезионными свойствами, может быть решена со значительным снижением энергозатрат при переходе от поставок в жидком состоянии (с соблюдением повышенного температурного режима) на «холодный способ» – в виде гранул. Технологическая цепочка обработки сырья, предназначенного для дальнейшего формирования гранул и состоящего из смеси порошково-зернистых битумных частиц, диспергируемых из потока жидкого битума в минеральный порошок из доломитовых пород, за-

вершается этапом деаэрирования получаемой однородной асфальтобетонной смеси в специальных устройствах со сферической матрицей.

Осуществить процесс механического уплотнения указанной смеси с получением в итоге готовых гранул-сфер можно в устройстве валкового типа с горизонтальной лентой, когда множество полусферических ячеек присутствуют в виде матрицы на гибких насадках поверхности вала и ленты. Слой сыпучей смеси, попадая на движущуюся ленту с гибкой насадкой из описанных ячеек, захватывается валком с оболочкой, который вращается с угловой скоростью ω , уплотняется в сужающемся зазоре и разделяется на деаэрированные гранулы. Производительность валково-ленточного устройства представляет собой одну из основных интегральных характеристик процесса деаэрации порошково-зернистой среды. Для расчета производительности Q данного проектируемого аппарата можно применить следующую блок-схему, показанную на рис. 1.

Блок 1 включает необходимые для вычислений входные физико-механические параметры: смешенных j компонентов ($\bar{C}_m^{(j)}$ – их массовые концентрации; $\rho_T^{(j)}$ – истинные плотности веществ) и осредненные значения этих показателей для однородной смеси в зависимости от $\bar{C}_m^{(j)}$ для составляющих (α_{20} и α_{2d} – начальное и требуемое значение порозности; α_d и k – коэффициенты слипаемости и газопроницаемости; $\tilde{\mu}$ – вязкость газа; n_k – опытная константа, характеризующая степень изменения пористости с учетом газопроницаемости среды и входящая в формулу $k = k_0[(1 - \alpha_2)/(1 - \alpha_{20})]^{n_k}$).

Блок 2 подразумевает выбор пределов изменения конструктивных параметров валково-ленточного деаэрата при задании автономных ограничений на движение ленты при соответствии технологическим требованиям к выполняемой операции. Следующий блок 3 предполагает вычисления тех показателей исследуемого процесса, которые участвуют в расчете искомого значения Q (блок 4): V_1 – объема уплотненного материала, перерабатываемого за один полный оборот вала; h_0 – начальной толщины слоя смеси; v_d скорости ленты; ω – угловой скоростью вращения вала и n – числа его оборотов в минуту.

Блок 5 накладывает условие на получаемое значение расчетной производительности с учетом особенностей работы уплотнителя с минимальным значением Q , при невыполнении которого происходит возврат действий к блоку 2.

Итоговая производительности должна соответствовать заданным технологическим требованиям для порозности готового уплотненного продукта в виде гранулы-сферы. Конкретизируем работу блоков.

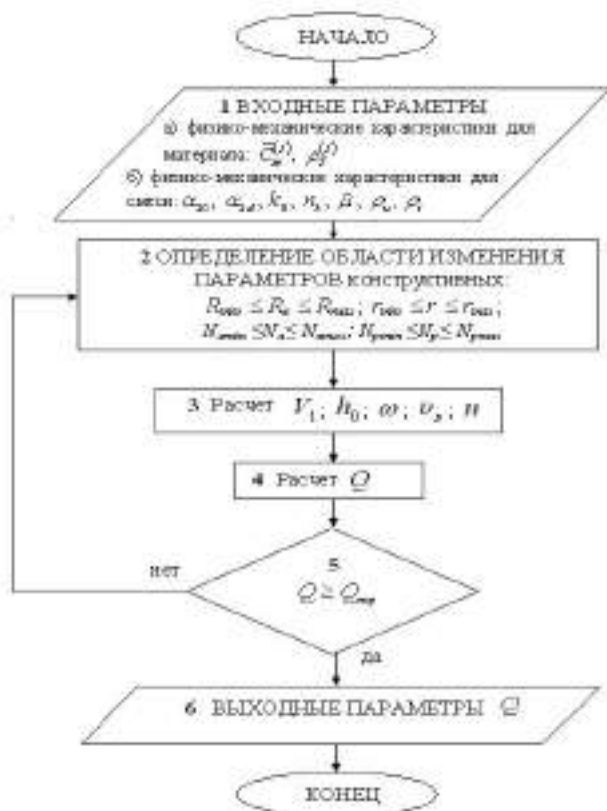


Рис. 1. Блок-схема расчета производительности валкового аппарата со сферической матрицей

Порозность смеси определяется с помощью выражения [1]

$$\alpha_2 = \rho_2 / \rho_T, \quad (1)$$

где нижний индекс «2» соответствует твердой фазе, а осредненные значения плотностей уплотняемой смеси (приведенной $\bar{\rho}_2$ и истинной $\bar{\rho}_T$) задаются концентрациями компонентов $\bar{C}_m^{(j)}$ при массах составляющих $m_2^{(j)}$ ($j = 1, 2$).

$$\rho_T = \sum_{j=1}^2 \bar{C}_m^{(j)} \rho_T^{(j)}, \quad \bar{C}_m^{(j)} = m_2^{(j)} (\sum_{k=1}^2 m_2^{(k)})^{-1}. \quad (2)$$

Расчетная формула, используемая в блоке 5 представленной схемы, имеет вид

$$Q = 80\pi^2 r^2 N_{\text{я}} R_{\text{в}} \rho_i n, \quad [\text{кг/ч}] \quad (3)$$

и получена с учетом объема уплотненного материала, перерабатываемого за один полный оборот вала

$$V_1 = 4/3\pi^2 r^2 N_{\text{я}} R_{\text{в}}. \quad (4)$$

В выражениях (3), (4) для Q и V_1 обозначено: r – радиус гранулы (ячейки); $N_{\text{я}}$ – число ячеек в одном ряду; $R_{\text{в}}$ – радиус вала; n – частота его оборотов; ρ_i – плотность деаэрированной гранулы.

Вычисление начальной толщины слоя смеси сыпучих материалов h_0 производится согласно технологическим особенностям процесса в зависимости от требуемого значения коэффициента динамического уплотнения [2, 3]

$$I = \rho_i / \rho_n. \quad (5)$$

С другой стороны, показатель технологической операции деаэрации можно определить как

$$I = V_{\text{сл}} (V_1 + V_{\text{л}})^{-1}, \quad (6)$$

т.е. отношением $V_{\text{сл}} = 2\pi S_{\text{л}} h_0 R_{\text{в}}$ – объема слоя материала, который должен находиться в валково-ленточном зазоре для обеспечения V_1 к сумме объемов V_1 и $V_{\text{л}}$,

Следовательно, искомая величина начальной толщины слоя смеси определяется равенством

$$h_0 = \rho_i (V_1 + V_{\text{л}}) (2S_{\text{л}} \rho_n \pi R_{\text{в}})^{-1}, \quad (7)$$

где $V_{\text{л}}$ – объем материала, который не будет использоваться в формировании конечных гранул (потери); $S_{\text{л}}$ – ширина ленты; ρ_n – начальная насыпная плотность.

Скорость ленты связана с угловой скоростью вращения вала или числом его оборотов в минуту известным соотношением $v_{\text{л}} = \omega R_{\text{в}} = \pi n R_{\text{в}} / 30$. Поиск требуемого значения ω представляет собой отдельную задачу, решаемую при описании движения несущей фазы в зазоре между валком и лентой согласно модели деаэрации тонкодисперсных материалов [1].

При этом производится осреднение всех используемых физико-механических характеристик сыпучей смеси, подвергающейся уплотнению, в зависимости от массовых концентраций j -х компонентов $\bar{C}_m^{(j)}$ с истинными плотностями их веществ $\rho_T^{(j)}$ аналогично формулам из (2) [4]

$$k_s = \sum_{j=1}^2 \bar{C}_m^{(j)} k_s^{(j)}. \quad (8)$$

Движение несущей фазы в валковом зазоре описывается с помощью уравнений – неразрывности и состояния газа; закона Дарси, а также связи между коэффициентом газопроницаемости и порозности среды. Исходя из разностного представления уравнения неразрывности несущей фазы за промежуток времени, при перемещении сечения ячейки в соседнее положение в «обращенной» системе, получена расчетная формула для угловой скорости вращения вала [5] в виде

$$\omega = (1 - \alpha_{20} \eta) \alpha_{20}^2 k \tilde{\mu}^{-1} (1 - \eta)^2 (y_{L2} - y_{L3})^{-2} \{ (\alpha_{20} \eta - 1) [r \alpha_{20} ((x_{03} - x_{02}) \sin \alpha)^{-1} + (R + r) [\cos(7\psi/2) - \cos(5\psi/2)] (y_{L2} - y_{L3})^{-1}] \}^{-1}. \quad (9)$$

Входящие в выражение (9) координаты точек L_2 и L_3 обода валка для сечения полусферической ячейки находятся на одном ее диаметре и задаются уравнением ее плоского движения $y_i(x)$. Точки O_2 и O_3 соответствуют центрам масс соседних положений описанных сечений в зазоре валок-лента. Углы α и ψ определяются конструктивными характеристиками устройства, параметры η и k зависят от α_{20} и α_{2d} . Получено, что функция $\omega(\alpha_{2d})$ убывает с увеличением значений требуемой порозности и начального ее значения.

В работе при $I = 167\%$; $R_g = 7,5 \cdot 10^{-2}$ м; $r = 5,0 \cdot 10^{-3}$ м; $N_y = 10$; $N_p = 48$ выполнен пример расчета для смеси битума БНД60/90 ГОСТ 2245-90 ($\bar{C}_m^{(2)} = 0,75$) и минерального порошка МП-1 ГОСТ512129-2003 ($\bar{C}_m^{(1)} = 0,25$). При этом использованы следующие опытные данные: для начальной порозности $\alpha_{20} = (0,500 - 0,590)$; газопроницаемости смеси $k_0 = 7,6 \cdot 10^{-6}$ м²; параметре $n_k = 3,9$, когда вязкость газа $\tilde{\mu} = 1,83 \cdot 10^{-5}$ Па·с. Другие показатели, применяемые в расчетах соответствуют значениям: требуемая степень уплотнения $\alpha_{2d} = (0,83 - 0,90)$; $\rho_n = 1,37 \cdot 10^3$ кг/м³; $\rho_i = 2,29 \cdot 10^3$ кг/м³; $V_{II} = 5\% V_{cl}$. Получены величины: $V_1 = 2,51 \cdot 10^{-4}$ м³; $h_0 = 1,3 \cdot 10^{-3}$ м; $\omega = 0,52$ рад/с (при $\alpha_{20} = 0,530$ и $\alpha_{2d} = 0,843$); $v_n = 3,6 \cdot 10^2$ м/с; $n = 5$ об/мин. Производительность Q составила 171 кг/ч.

ЛИТЕРАТУРА

1. Математическое описание процесса механического уплотнения тонкодисперсных материалов / А. Б. Капранова, А. А. Мурашов, А. И. Зайцев, А. Е. Лебедев. Ярославль : Изд-во Яросл. гос. техн. ун-та, 2006. 100 с.
2. Лукьянов, П. И. Аппараты с движущимся зернистым слоем. Теория и расчет / П.И. Лукьянов. М., 1974. 184 с.
3. Андрианов Е.И. Методы определения структурно-механических характеристик порошкообразных материалов / Е.И. Андрианов. М. : Химия, 1982. 256 с.
4. Капранова, А. Б. Экспериментальные исследования процесса механического уплотнения тонкодисперсных материалов / А. Б. Капранова, А. И. Зайцев, А. В. Оборин. Ярославль: Изд-во Яросл. гос. техн. ун-та, 2008. 104 с.
5. Дубровин А.В. Совершенствование процессов получения гранулированного материала с использованием распылов битума в новом способе производства асфальтобетонных смесей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08. Ярославль, 2010. 16 с.

Капранова Анна Борисовна –

доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Теоретическая механика» Ярославского государственного технического университета

Лебедев Антон Евгеньевич –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая механика» Ярославского государственного технического университета

Дубровин Андрей Валерьевич –

аспирант кафедры «Теоретическая механика» Ярославского государственного технического университета

Петров Артем Анатольевич –

аспирант кафедры «Теоретическая механика» Ярославского государственного технического университета

Статья поступила в редакцию 11.08.11, принята к опубликованию 15.11.11