

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-3-121-127

¹Качаев А.Е., ²*Орехова Т.Н., ²Окушко В.В., ²Шестаков Ю.Г.¹ООО «Воскресенский завод «Машиностроитель»»,²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: nefact@mail.ru

МЕХАНИКА ВЗВЕШЕННОГО СЛОЯ С ПОЛИДИСПЕРСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ В ПНЕВМОСМЕСИТЕЛЯХ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Аннотация. *Качество перемешивания сухих строительных смесей во многом зависит от специализированной техники, которая используется при данном процессе. Для наилучшего смешения сухих строительных смесей используются пневмосмесители непрерывного действия. Пневмосмесители непрерывного действия являются наиболее эффективным оборудованием для получения сухих строительных смесей с более высокой степенью однородности. Именно этот показатель позволяет получить более качественный конечный продукт. В настоящее время существует большое количество пневмосмесителей непрерывного действия, которые активно модернизируются как в нашей стране, так и за рубежом. В статье представлена методика, которая описывает механику взвешенного слоя с полидисперсными частицами в рабочем объеме палитры смещения пневмосмесителя непрерывного действия. Данная методика получена на основании исследований, которые проводились авторами статьи с учетом экспериментальных данных, которые были получены другими учеными. В данном материале обобщен подход к численному моделированию взвешенного слоя с частицами различной дисперсности (на примере для сухих строительных смесей) и плотности. Так же были установлены зависимости границы слоя, его порозности, и скоростных параметров от диаметров частиц, геометрических параметров камеры смешения и иных технологических величин, которые влияют на взвешенный слой внутри камеры. В тексте статьи представлен алгоритм расчета механики взвешенного слоя, который зарекомендовал себя при численном моделировании слоя высокими показателями точности расчетов, что в дальнейшем подтвердилось необходимым количеством экспериментальных данных.*

Ключевые слова: *камера смешения, поток, частица, параметр торможения, циркуляция, тангенциальная скорость, порозность слоя.*

Введение. Вопросы эффективного перемешивания компонентов различной дисперсности ставятся в различных отраслях промышленности. Решение этих вопросов всегда неоднозначно и нетривиально. Это связано с тем, что в условиях действующих предприятий по выпуску сухих строительных смесей, порошковых красок, пигментов, извести и др. в промышленности строительных материалов широко используются различного типа смесители: лопастные, роторные, планетарные, гравитационные и другие. Однако наряду с высокой надежностью этих агрегатов они имеют и ряд недостатков: высокая металлоемкость, высокие показатели износа рабочих органов, сравнительно невысокие показатели однородности готового продукта.

Коллективом авторов разработаны конструкции пневмосмесителей непрерывного действия [1, 2, 3], которые отвечают современным требованиям, предъявляемым к технологическому оборудованию для гомогенизации полидисперсных компонентов: низкая металлоемкость конструкции (за счет изготовления корпуса смесительного агрегата из мягкого полиуретана); отсутствие в готовом продукте металлических включений; высокая производительность и коэффициент однородности смеси.

За последние годы как у нас в стране [4, 5] так и за рубежом [6, 7] эффективно используются агрегаты с пневматическим принципом перемешивания порошкообразных масс: вертикального исполнения, горизонтального типа, с псевдооживлением слоя компонентов смеси и др. В этом особое место занимают пневмосмесители горизонтального типа непрерывного действия с камерой смешения переменного поперечного сечения. Для использования пневмосмесителей при производстве сухих строительных смесей различной дисперсности, в конструкции которых присутствует камера в виде параболического корпуса, очень важно уделить внимание динамике полидисперсного потока [8]. В виду сложности всех динамических моделей на различных этапах движения компонентов в пневмосмесителе необходимо поддерживать полидисперсный поток во взвешенном состоянии. Именно поэтому очень важно определить характер поведения частиц различного диаметра в рабочем объеме пневмосмесителя. Для этого необходимо описать механику взвешенного слоя в камере смешения с целью управления эффективными режимами эксплуатации пневмосмесителя [9].

Основная часть. Условия механики взвешенного слоя сформулируем так: если критический диаметр частицы $d_{кр}$ больше максимального d_{max} для имеющихся в слое частиц, то все частицы будут взвешены [10]. В этом случае аргумент функции распределения частиц $\tau_{кр} \gg 1$ и $D(\tau_{кр}) \approx 1$ поэтому из (13) параметр $S = 1$, т.е. полностью взвешенный слой не будет тормозить поток о криволинейную поверхность камеры. С уменьшением такого торможения возрастает значение торможения потока с частицами о торцевые днища камеры. Этот вид торможения играет более существенную роль для мелких частиц, взвешенных в газообразном объеме, в камере с параболическими коническими стенками [11]. В соответствии с [12] для полностью взвешенного слоя будем учитывать торможение потока о торцевые поверхности. Рассматривается однородный взвешенный слой цилиндрической формы длиной L , наружным радиусом R_n и внутренним R_i [13]. Если M - масса частиц в слое, то доля объема, занятая средой, т.е. порозность слоя ε , будет:

$$\varepsilon = \frac{V_c}{V} = 1 - \frac{V_{p\Sigma}}{V} = 1 - \frac{M}{\pi(R_n^2 - R_i^2)L\rho_p}, \quad (1)$$

где V – объем слоя; V_c – объем занимаемый средой; $V_{p\Sigma}$ – объем всех частиц. Тогда среднюю плотность слоя можно записать так:

$$\rho_c = \frac{\rho V_c + \rho_p V_p}{V} = \rho_p(1 - \varepsilon) + \rho\varepsilon \quad (2)$$

Рассмотрим взаимодействие кольцевого взвешенного слоя радиусом r и шириной δr с торцевыми стенками камеры смешения. Сила воздействия двухфазного потока на единицу площади торцевой поверхности определяется скоростным напором $C_f \rho_c v_c^2$, где C_f – коэффициент трения потока о стенку [14]. Тогда момент сил взаимодействия кольцевого слоя на две торцевые стенки камеры равен:

$$d\Omega = 2C_f \frac{\rho_c v_c^2}{2} 2\pi r \cdot r dr = 2\pi C_f \rho_c \Gamma^2 dr, \quad (3)$$

где $\Gamma = v_c r$ – циркуляция потока, проходящего через слой; v_c – тангенциальная скорость среды и частиц слоя [15].

Этот момент сил приводит к уменьшению потока момента количества движения среды $\Omega = G \cdot \Gamma$, проходящей через слой dr :

$$d\Omega = G \cdot d\Gamma \quad (4)$$

Исключая $d\Omega$ из (3) и (4), получаем уравнение

$$G d\Gamma = 2\pi C_f \Gamma^2 \rho_c dr,$$

после интегрирования которого при граничном условии $\Gamma(R_n) = \Gamma_{ск}$ на наружном радиусе R_n слоя имеем [16]:

$$\Gamma = \frac{\Gamma_{ск}}{1 + 2\pi C_f \rho_c (R_n - r) \Gamma_{ск} / G}. \quad (5)$$

Так как наружный радиус слоя R_n может быть меньше R_k , то в области $R_k \leq r \leq R_n$ циркуляция будет постоянна [17]. Поэтому можно записать

$$\Gamma_{ск} = v_{ск} \cdot R_n, \quad (6)$$

Отсюда

$$\Gamma_{ск} = \frac{\sqrt{4\pi C_f \rho_c \Gamma_{ск} L / G + 1} - 1}{2\pi C_f \rho_c L / G} \quad (7)$$

где $\Gamma_k = v_k \cdot R_k$; v_k – тангенциальная скорость на периферии ненагруженной камеры смешения.

Выведенные соотношения зависят от коэффициента трения C_f . В [11] результате сопоставления расчетов с экспериментом получено $C_f = 0,003$, а [8] для псевдооживленного слоя по аналогии с дисперсно-кольцевым потоком в трубах предлагается $C_f = 0,005$. Такого порядка значения для коэффициента сопротивления следуют из формулы Прандтля [8]

$$C_f = \frac{0,077}{Re^{0,2}} \quad (8)$$

при $5 \cdot 10^5 < Re < 10^7$, которая обобщает эксперименты по сопротивлению гладкой пластины. Для камеры смешения $Re = v_k R_k / \nu$.

Методика исследований. Последовательность действий для расчёта взвешенного слоя в камере смешения пневмосмесителя:

1. Исходными данными является геометрия камеры смешения, массовый расход полидисперсной воздушной среды, её свойства, свойства частиц и масса слоя M .

2. Определяется максимальный и минимальный диаметр частиц. При известном нормально-логарифмическом распределении эти диаметры рассчитываются с 5%-ной обеспеченностью. Тогда согласно [18]:

$$\tau = \frac{\lg(d, d_{50})}{\lg \sigma} \quad (9)$$

где τ – аргумент функции распределения; σ – дисперсия; d – диаметр частицы; d_{50} – медианный диаметр частицы; и с учётом того, что $D(1.65) = 1 - D(-1.65) = 0.95$, получаем

$$d_{max} = d_{50} \cdot \sigma^{1.65} \quad (10)$$

$$d_{min} = d_{50} \cdot \sigma^{-1.65} \quad (11)$$

3. По экспериментальной зависимости в [19]

$$\frac{1}{s} \approx \bar{M}(1 - \bar{p}) \left(1 - D(\tau_{кр})\right) f_f + 1 \quad (12)$$

где s – параметр торможения потока зондом или слоем частиц; \bar{M} – средняя масса слоя в смеси-

тельной камере; P – порозность слоя; D – функция распределения от $\tau_{кр}(\tau)$; f_f – коэффициент трения частиц о поверхность камеры;

определяем параметр торможения S . Если $S \approx 1$, это свидетельствует, что частицы не соприкасаются с поверхностью камеры.

Таблица 1

Входные данные

Наименование параметра	Обозначение	Величина
Массовый расход газа	G	.24000E-01(кг/с)
Радиус камеры	R_k	.80000E-01(м)
Радиус выходного отверстия	R_i	.27500E-01(м)
Длина камеры	L	.20000E+00(м)
Площадь щелей завихрителя	F_{vx}	.36000E-03(м**2/с)
Угол наклона	P_{sivx}	.60000E+02(град)
Вид завихрителя	VID	1
Кинематическая вязкость	ν	.15000E-04(м**2/с)
Плотность среды	ρ_c	.12600E+01(кг/м**3)
Плотность частиц	ρ_p	.23200E+04(кг/м**3)
Медианный диаметр частиц	d_{50}	.10000E-04(м)
Мин. диаметр частиц	d_{min}	.96272E-05(м)
Макс. диаметр частиц	d_{max}	.10387E-04(м)
Логарифм дисперсии распр.	σ	.10000E-01
Коеф. Отставания частицы	β	.10000E+01
Масса слоя	M	.14600E+00(кг)
Структура слоя для частиц с d_{min} (1-одна ветвь, 2-две ветви)	$KOD3$	1
Относительная точность	EPS	.10000E-01

Таблица 2

Результаты расчетов

Наименование параметра	Обозначение	Величина
Скорость у стенки камеры	v_{ck}	.67976E+01(м/с)
Средняя порозность слоя	ε	.97354E+00
Возможные параметры слоя при $A=.45926E+01$		
Диаметр частицы на R_1	d_{R1}	.95721E-05(м)
Тангенциальная скорость	v_1	.49266E+01(м/с)
Минимальная танг. скорость	v_{min}	.39925E+01(м/с)
Радиус v_{min}	R_{min}	.48710E-01(м)
Диаметр частицы на R_{min}	d_{Rmin}	.11812E-04(м)
Диаметр частицы на R_k	d_{Rk}	.69374E-05(м)
Параметры на внутреннем радиусе слоя		
Диаметр частицы	d_{cmin}	.96272E-05(м)
Внутренний радиус слоя	R_1	.27762E-01(м)
Тангенциальная скорость	v_{cR1}	.48984E+01(м/с)
Параметры для средней частицы D50		
Диаметр D50	d_{50}	.10000E-04(м)
На внутренней ветви		
Радиус траектории	R_{50}	.29633E-01(м)
Тангенциальная скорость	v_{50}	.47158E+01(м/с)
На наружной ветви		
Радиус траектории	R_{50}	.67786E-01(м)
Тангенциальная скорость	v_{50}	.47158E+01(м/с)
Параметры на внутреннем радиусе слоя		
Диаметр	d_{cRn}	.10387E-04(м)
Наружный радиус слоя	R_n	.65626E-01(м)
Тангенциальная скорость	v_{cRn}	.45401E+01(м/с)

4. Задаются границы слоя $R_n = R_1$ и $R_i = R_1$ (где R_n – начальный радиус камеры, R_1 – радиус выходного отверстия)

5. По (1) и (2) рассчитывается плотность слоя ρ_c

6. По (10) определяется коэффициент трения потока о поверхность C_f .

7. Необходимая тангенциальная скорость частиц в слое на определённом радиусе R_i находится из условия $K_s = R_i$ (где K_s – коэффициент сепарации), из которого из стоксовских частиц получаем:

$$v_c = \sqrt{\frac{9vQ\bar{\rho}}{\pi L(1-\bar{\rho})d^2}} \quad (13)$$

здесь v – климатическая вязкость; L – длина камеры; D – диаметр частицы [20].

Как видно, скорость зависит от диаметра частицы и явно не зависит от радиуса R_i

8. Согласно (9) определяется циркуляция $\Gamma_{ск}$ на периферии слоя

9. Из (5) определяется радиус $\bar{R}_i = \frac{R_i}{R_k}$ на котором частицы имеют скорость v_c :

$$\bar{R}_i = \frac{(1+A\bar{R}_n) \pm \sqrt{(1+A\bar{R}_n)^2 - 4\frac{A}{v_c}}}{2A} \quad (14)$$

где

$$A = \frac{2\pi C_f \rho_c R_n \tau_{ск}}{G} \quad (15)$$

$$\bar{v}_c = \frac{v_c}{v_{ск}} \quad (16)$$

Здесь $v_{ск}$ – тангенциальная скорость слоя на поверхности камеры; v_c – среднее значение тангенциальной скорости частиц в камере; A – геометрический коэффициент потока со взвешенными частицами; $\tau_{ск}$ – циркуляция слоя в камере. \bar{R}_n – среднее значение начального радиуса камеры.

10. Для d_{min} и d_{max} по (13) и (14) определяются радиусы орбит этих частиц r_{min} и r_{max}

11. Задаются новые границы слоя $R_n = r_{max}$ и $R_k = r_{min}$, и расчёт повторяется с п.4. Расчёты проводятся до совпадения результатов с необходимой точностью. В итоге данная методика расчёта взвешенного слоя в камере пневмосмесителей позволяет определить границы слоя, его порозность и скоростные параметры его вращения. По данной методике получены расчётные данные о механике взвешенного слоя, которые представлены в таблице 2. Исходные данные для расчёта показаны в таблице 1.

Выводы. В данной статье была разработана методика расчета механики взвешенного слоя, преимуществом которой являются более точные

показатели расчетов, что подтверждается экспериментальными данными. Так же были получены зависимости скоростных параметров частиц от параметров камеры смешения и размеров самих частиц.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 102533, Российская федерация, МПК В01 F5/00. Пневмосмеситель непрерывного действия для производства сухих строительных смесей / В.А Уваров, Т.Н. Орехова, С.И. Гордиенко, А.Е Качаев; заявитель и патентообладатель: БГТУ им. В.Г Шухова. № 20101140830; заявл. 05.10.2010; опубл. 10.03.2011, Бюл. №7.

2. Пат. 141488, Российская Федерация, МПК В01 F5/00. Противоточный пневмосмеситель для производства дисперсно-армированных смесей / В.А Уваров, Т.Н. Орехова, С.В. Клюев, А.Е Качаев; заявитель и патентообладатель: БГТУ им. В.Г Шухова. №2013159013; заявл. 30.12.2013; опубл. 10.06.2014, Бюл. №16.

3. Пат. 115682, Российская Федерация, МПК В01 F5/00. Пневмосмеситель многокомпонентных сухих строительных смесей / В.А Уваров, Т.Н. Орехова, С.И. Гордеев, А.Е Качаев; заявитель и патентообладатель: БГТУ им. В.Г Шухова. №2011151913; заявл. 19.12.2011; опубл. 10.05.2012, Бюл. №13.

4. Корнеев В.И. Сухие строительные смеси (состав, свойства). М.: РИФ «Стройматериалы», 2010. 320 с.

5. Банит Ф.Г. Эксплуатация, ремонт и монтаж оборудования промышленности строительных материалов. М.: Стройиздат, 1991. 368 с.

6. Arratia P.E., Muzzio F.J., Godbole P., Reynolds S. A study of the mixing and segregation mechanisms in the Bohle Tote blender via DEM simulations // Powder Technology. 2006. No. 164. Pp. 50–57.

7. Berthiaux H., Mizonov V. Applications of Markov Chains in Particulate Process Engineering: A Review // The Canadian Journal of Chemical Engineering. 2004. No. 6. Pp. 1143–1168.

8. Воляков Э.П., Кардаш А.П. Гидродинамика вихревой гиперболической камеры при наличии твёрдой фазы // Изв. СО РАН СССР. Сер. техн. наук. 1984. № 10. С. 90–98.

9. Anderson L.A., Hasinger, S.H., Turman, B.N. Two-component vortex flow studies of the colloid core nuclear rocket // J. Spacecraft and rock. 1972. No. 5. Pp. 311–317.

10. Смульский И.И. Аэродинамика и процессы в вихревых камерах. М.: Новосибирск: ВО "Наука". Сибирская издательская фирма, 1992. 301 с.

11. Uvarov V.A. The counterflow mixer for receiving the disperse reinforced composites // Research Journal of Applied Sciences. 2014. No. 12. Pp. 1211–1215.

12. Романович А.А., Орехова Т.Н., Мещеряков С.А., Прокопенко В.С. Технология получения минеральных добавок // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2015. № 5. С. 188–192.

13. Орехова Т.Н., Уваров В.А. Определение скорости частиц материала пневмосмесителя сухих строительных смесей // Фундаментальные исследования. 2013. № 4. С. 592–596.

14. Уваров В.А., Орехова Т.Н. Анализ конструкций пневмосмесителей для производства сухих строительных смесей // Интерстроймех. 2010. № 7. С. 91–96.

15. Орехова Т.Н., Агарков А.М., Голубятников А.А. Направления конструктивно-технологического совершенствования пневмосмесителей для производства строительных материалов // Научный альманах. 2015. №3. С. 124–127.

16. Orekhova T.N., Krasnov V.V., Demushkin N.P. Pneumatic Mixer for the production of dispersed-reinforced mixtures // News of Science and Education. 2018. No. 4. Pp. 24–27.

17. Orekhova T.N., Krasnov V.V., Demushkin N.P. Pneumatic vertical mixer // News of Science and Education. 2018. No. 4. Pp. 21–23.

18. Orekhova T.N., Krasnov V.V., Demushkin N.P. Trends in the development of modern technology and technologies for mixing bulk materials // News of Science and Education. 2018. No. 4. Pp. 17–20.

19. Orekhova T.N., Krasnov V.V., Demushkin N.P. Classification of mixing equipment for the construction industry // News of Science and Education. 2018. No. 4. Pp. 13–16.

20. Orekhova T.N., Krasnov V.V., Demushkin N.P. Improvement of devices for mixing dry building mixes // News of Science and Education. 2018. No. 4. Pp. 9–12.

Информация об авторах

Качаев Александр Евгеньевич, начальник конструкторско-технологического управления, главный конструктор ООО «Воскресенский завод «Машиностроитель». E-mail: nefact@mail.ru. Россия, 140203, Московская обл. г. Воскресенск, ул. Гаражная, 1.

Орехова Татьяна Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры подъемно-транспортных и дорожных машин. E-mail: nefact@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Окушко Виктория Вадимовна, магистрант кафедры подъемно-транспортных и дорожных машин. E-mail: viktoriaoakushko@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Шестаков Юрий Геннадьевич, студент группы НС-31 кафедры подъемно-транспортных и дорожных машин. E-mail: nefact@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в январе 2020 г.

© Качаев А.Е., Орехова Т.Н., Окушко В.В., Шестаков Ю.Г., 2020

¹Kachaev A.E., ^{2,*}Orekhova T.N., ²Okushko V.V., ²Shestakov Y.G.

¹Voskresensky Plant Mashinostroitel LLC

²Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

*E-mail: nefact@mail.ru

MECHANICS OF THE SUSPENDED LAYER WITH POLYDISPERSE PARTICLES IN CONTINUOUS AIR MIXERS

Abstract. The quality of mixing of dry building mixes largely depends on the specialized equipment that is used in this process. For the best mixing of dry building mixes, continuous pneumatic mixers are used. Continuous air mixers are the most effective equipment for producing dry building mixes with a higher degree of uniformity. This indicator allows to achieve a better final product. Currently, there are a large number of continuous air mixers that are actively being modernized both in our country and abroad. The article presents a technique that describes the mechanics of a suspended layer with polydisperse particles in the working volume of the displacement palette of a continuous air mixer. The method is based on research conducted by the authors of the article, taking into account experimental data obtained by other scientists. This paper summa-

rizes an approach to numerical modeling of a suspended layer with particles of different dispersion (for example, for dry building mixes) and density. The dependences of the layer boundary, its porosity, and speed parameters on the particle diameters, geometric parameters of the mixing chamber, and other technological values that affect the suspended layer inside the chamber are established. The article presents an algorithm for calculating the mechanics of the weighted layer, which proved itself in numerical modeling of the layer with high accuracy of calculations, which is later confirmed by the necessary amount of experimental data.

Keywords: mixing chamber, flow, particle, braking parameter, circulation, tangential velocity, layer porosity.

REFERENCES

1. Uvarov V.A., Orekhova T.N., Gordienko S.I., Kachaev A.E. Continuous pneumatic mixer for the production of dry building mixes. Patent RF, no. 20101140830, 2010.
2. Uvarov V.A., Orekhova T.N., Klyuyev S.V., Kachaev A.E. Countercurrent pneumatic mixer for the production of dispersed-reinforced mixtures. Patent RF, no. 2013159013, 2013.
3. Uvarov V.A., Orekhova T.N., Gordeev S.I., Kachaev A.E. Pneumatic mixer of multi-component dry building mixes. Patent RF, no. 2011151913, 2012.
4. Korneev V.I. Dry building mixes (composition, properties). [Sukhie stroitelnye smesi: sostav, svoystva]. Moscow: RIF "Building Materials", 2010. 320 p. (rus)
5. Banit F.G. Operation, repair and installation of equipment for the construction materials industry. [Ekspluatatsiya, remont i montazh oborudovaniya promyshlennosti stroitelnykh materialov]. Moscow: Stroizdat, 1991. 368 p. (rus)
6. Arratia P.E., Duong Nhat-hang, Muzzio F.J., Godbole P., Reynolds S. A study of the mixing and segregation mechanisms in the Bohle Tote blender via DEM simulations. Powder Technology. 2006. Vol. 164. Pp. 50–57.
7. Berthiaux H., Mizonov V. Applications of Markov Chains in Particulate Process Engineering: A Review. The Canadian Journal of Chemical Engineering. 2004. Vol. 85. No. 6. Pp. 1143–1168.
8. Polyakov E.P., Kardash A.P. Hydrodynamics of a vortex hyperbolic chamber in the presence of a solid phase [Gidrodinamika vikhrevoj giperbolicheskoy kamery pri nalichii tvyordoj fazy]. Izv.SO RAN SSSR. Ser.tekhn. nauk. 1984. Vol. 2. No. 10. Pp. 90–98. (rus)
9. Anderson L.A., Hasinger S.H., Turman B.N. Two-component vortex flow studies of the colloid core nuclear rocket. J. Spacecraft and rock. 1972. Vol. 9. No. 5. Pp. 311–317.
10. Smulsky J.J. The Aerodynamics and processes in vortex chambers. [Aerodinamika i protsessy v vikhrevykh kamerakh]. Novosibirsk: VO "Nauka". Siberian publishing company, 1992. 301 p. (rus)
11. Uvarov V.A. The counterflow mixer for receiving the disperse reinforced composites. Research Journal of Applied Sciences. 2014. Vol. 9. No. 12. Pp. 1211–1215.
12. Romanovich A.A., Orekhova T.N., Meshcheryakov S.A., Prokopenko V.S. Technology of producing mineral admixtures. [Tehnologia polychenia mineralnih dobavok]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2015. No. 5. Pp. 188–192. (rus)
13. Orekhova T.N., Uvarov V.A. Determination of the particle velocity of the material of the pneumatic mixer of dry building mixes [Opredelenie skorosti chastits materiala pnevmosmesitelya sykhikh stroitelnykh smesey]. Fundamental research. 2013. No.4. Pp. 592–596. (rus)
14. Uvarov V.A., Orekhova T.N. The structural analysis of pnevmonita for the production of dry construction mixtures. [Analiz konstruktivnoy pnevmosmesiteley dlya proizvodstva sykhikh stroitelnykh smesey]. Interstroyemh. 2010. Pp. 91–96. (rus)
15. Orekhova T.N., Agarkov A.M., Golubyatnikov A.A. Directions of constructive and technological improvement of pneumatic mixers for the production of building materials. [Napravleniya konstruktivno-tekhnologicheskogo sovershenstvovaniya pnevmosmesiteley dlya proizvodstva stroitelnykh materialov]. Scientific almanah. 2015. No. 3. Pp. 124–127. (rus)
16. Orekhova T.N., Krasnov V.V., Demushkin N.P. Pneumatic Mixer for the production of dispersed-reinforced mixtures. News of Science and Education. 2018. Vol. 1. No. 4. Pp. 24–27.
17. Orekhova T.N., Krasnov V.V., Demushkin N.P. Pneumatic vertical mixer. News of Science and Education. 2018. Vol. 1. No. 4. Pp. 21–23.
18. Orekhova T.N., Krasnov V.V., Demushkin N.P. Trends in the development of modern technology and technologies for mixing bulk materials. News of Science and Education. 2018. Vol. 1. No. 4. Pp. 17–20.
19. Orekhova T.N., Krasnov V.V., Demushkin N.P. Classification of mixing equipment for the construction industry. News of Science and Education. 2018. Vol. 1. No. 4. Pp. 13–16.

20. Orekhova T.N., Krasnov V.V., Demushkin N.P. Improvement of devices for mixing dry building mixes. News of Science and Education. 2018. Vol. 1. No. 4. Pp. 9–12.

Information about the authors

Kachaev, Aleksander E. Head of design and Technological Administration, Chief Designer of Voskresensky Plant Mashinostroitel LLC. E-mail: nefact@mail.ru. Russia, 140203, Moscow region Voskresensk, st. Garage, 1.

Orekhova, Tatyana N. PhD, Assistant professor. E-mail: nefact@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Okushko, Viktoriya V. Master student. E-mail: viktoriakushko@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st.Kostyukova, 46.

Shestakov, Yuri G. Student of the NS-31 group of the Department of lifting and road vehicles. E-mail: nefact@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova str., 46.

Received in January 2020

Для цитирования:

Качаев А.Е., Орехова Т.Н., Окушко В.В., Шестаков Ю.Г. Механика взвешенного слоя с полидисперсными частицами в пневмосмесителях непрерывного действия // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 3. С. 121–127. DOI:10.34031/2071-7318-2020-5-3-121-127

For citation:

Kachaev A.E., Orekhova T.N., Okushko V.V., Shestakov Y.G. Mechanics of the suspended layer with poly-disperse particles in continuous air mixers. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 3. Pp. 121–127. DOI:10.34031/2071-7318-2020-5-3-121-127