

УДК 669.162.1

**Мных Антон Сергеевич**, профессор, доктор технических наук  
**Довгаль Владимир Владимирович**, доцент, кандидат технических наук  
**Шумикин Сергей Александрович**, доцент, кандидат технических наук

## УПРАВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ШИХТЫ ПО ВЫСОТЕ СЛОЯ НА АГЛОМАШИНЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ЕЕ ЗАГРУЗКИ

*Запорожская государственная инженерная академия*

Предлагается использование математической модели, позволяющей определить распределение классов крупности сыпучего материала по высоте его слоя на агломашине. Установлены закономерности чувствительности сегрегации к изменению параметров шихты и загрузочного устройства. Ключевые слова: сегрегация, агломерационная шихта, высота слоя, загрузочный лоток, барабанный питатель

*Введение.* Агломерационный процесс обеспечивает доменное производство основным сырьем, качество которого определяет дальнейшую себестоимость производимой металлургической продукции. Процесс загрузки шихты на агломашину является одной из основных технологических операций, определяющих получение качественного агломерата. Понимание закономерностей распределения фракций шихты по высоте слоя, возможность моделирования и дальнейшего управления данным процессом позволит повысить качество агломерата.

Результаты моделирования сегрегационных процессов в слое сыпучего материала представлены в работе [1]. В связи с тем, что закономерности распределения классов крупности зависят от физико-химических параметров материала, в работах [2-4] выполнено исследование факторов, оказывающих влияние на их разделение по высоте слоя, определены реальные значения коэффициентов трения различных фракций загружаемого материала для конкретных условий работы технологического оборудования.

*Постановка задачи.* При загрузке шихты на агломашину наблюдается сегрегация частиц материала по высоте слоя, которая оказывает влияние, как на его газопроницаемость, так и распределение в нем топлива. Задачу нахождения распределения классов крупности шихты по высоте слоя на агломашине можно свести к задаче расчета фракционного состава сыпучего материала без сегрегации. Для этого слой шихты на агломашине необходимо рассматривать как совокупность горизонтов, фракционный состав которых можно определить независимо от остальных, и следует разработать методику, учитывающую физико-химические характеристики материала и конструктивные характеристики загрузочного устройства.

*Изложение результатов исследования.* В работе предлагается математическая модель, позволяющая определить распределение классов крупности по высоте слоя шихты на агломашине. Настройку данной модели выполняют на основе экспериментальных данных и сведений о параметрах загрузочного устройства: типе питателя, угле наклона и длине загрузочного лотка. Настройка заключается в нахождении значений коэффициента изменения среднего диаметра частиц сыпучего материала  $K$ , для которого ошибка моделирования будет минимальной.

Алгоритм настройки модели для идентификации гранулометрических характеристик агломерационной шихты с учетом особенностей ее переработки представлен на рис. 1. Коэффициент  $K$  определяют для каждого из горизонтов слоя. При настройке модели, суммарную ошибку моделирования  $e$  находим по формуле

$$y = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \sqrt{(\Phi_{ijp} - \Phi_{ijэ})^2}, \quad (1)$$

где  $k$  – количество зон слоя;  $n$  – количество фракций;  $\Phi_{ijp}$ ,  $\Phi_{ijэ}$  – соответственно расчетные и экспериментальные значения содержания фракции  $i$  в горизонте слоя  $j$ , %.

Исходными данными для расчета служат общее количество материала, средний диаметр его частиц, коэффициент  $K$ , полученный при настройке модели, средние диаметры частиц фракций, для которых выполняют расчет, средние диаметры частиц в каждом из горизонтов слоя. В табл. 1-3 представлены результаты расчетов значения коэффициента  $K$  и данных об ошибке моделирования для условий ОАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь» (агломашины № 2 и № 4) и ОАО «Алчевский металлургический комбинат» (АМК).

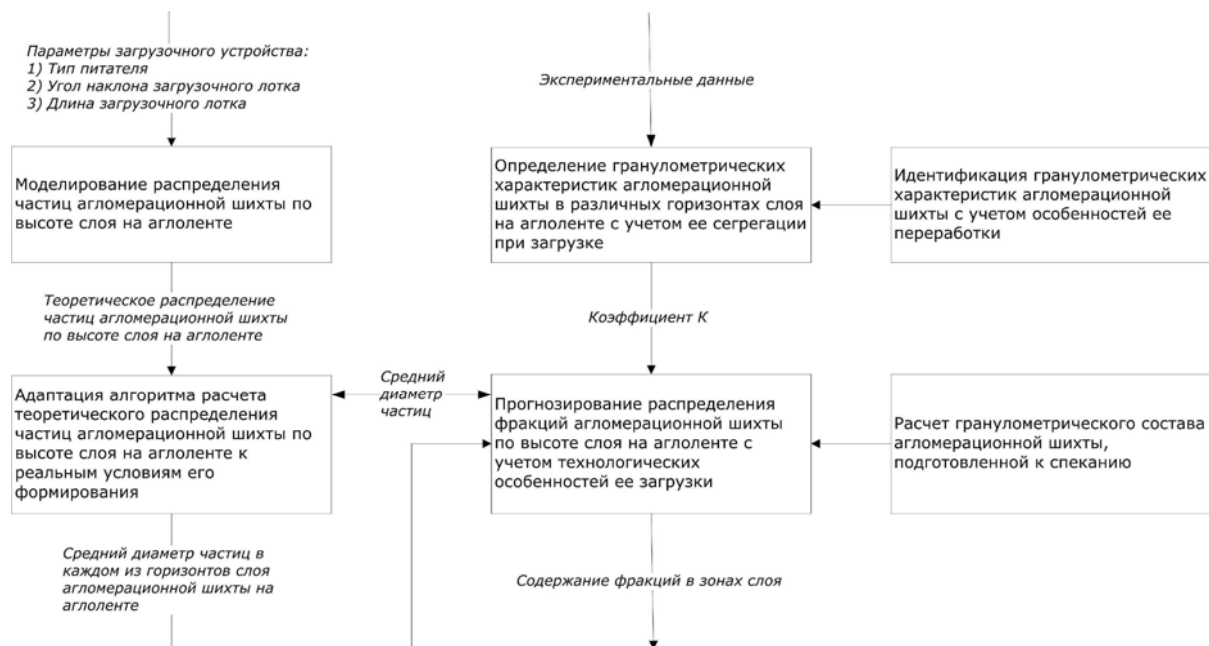


Рисунок 1 – Алгоритм модели идентификации granulометрического состава шихты

Таблица 1 – Значения коэффициента K и ошибки моделирования для различных предприятий

Предприятие	K	Среднеквадратическое отклонение, %		
		Среднее	Минимальное	Максимальное
ОАО «Запорожсталь», а. м. № 2	0,34	0,644	0,016	2,083
ОАО «Запорожсталь», а. м. № 4	0,48	1,567	0,027	5,109
ОАО «АМК»	0,43	0,768	0,032	1,864

Результаты расчетов показывают, что модель является адекватной и может быть использована для расчета распределения классов крупности шихты по высоте слоя на агломашине.

Ошибка моделирования для каждой из фракций не превышает 5,109 %, а в среднем ошибка составляет 0,993 %.

Таблица 2 – Моделирование распределения фракций на ОАО «Запорожсталь», а. м. № 2

Характеристика слоя	Средний диаметр частиц фракции, мм					
	1,5	4,5	8,0	11,0	13,0	
Эксперимент						
Горизонт слоя	1	9,53	3,70	2,02	0,60	0,82
	2	8,87	4,30	1,92	0,50	1,08
	3	8,48	4,00	2,15	0,58	1,45
	4	6,85	5,05	2,33	0,60	1,83
	5	5,98	5,00	2,63	0,73	2,32
	6	5,23	4,25	2,62	1,58	2,98
Моделирование						
Горизонт слоя	1	9,55	3,16	2,13	1,21	0,62
	2	8,20	3,76	2,53	1,43	0,74
	3	7,50	4,07	2,74	1,55	0,80
	4	6,78	4,39	2,96	1,68	0,86
	5	6,57	4,49	3,02	1,71	0,88
	6	6,39	4,56	3,07	1,74	0,90
Среднеквадратическое отклонение, %						
Горизонт слоя	1	0,01552	0,53657	0,10942	0,60667	0,19838
	2	0,66998	0,53886	0,61176	0,93467	0,34093
	3	0,97764	0,07107	0,59039	0,97288	0,65003
	4	0,06921	0,65839	0,62615	1,07515	0,96704
	5	0,58943	0,51450	0,38936	0,98097	1,43859
	6	1,16384	0,31350	0,45186	0,16072	2,08326

Таблица 3 – Моделирование распределения фракций по высоте слоя на ОАО «АМК»

Характеристика слоя		Средний диаметр частиц фракции, мм				
		1,5	4,0	6,0	8,5	12,0
Эксперимент						
Горизонт слоя	1	11,25	1,57	1,04	1,19	0,24
	2	10,00	2,37	1,14	0,54	0,27
	3	8,81	2,63	1,80	0,70	0,34
	4	6,72	3,23	2,94	0,86	0,53
	5	5,93	2,80	2,83	1,31	1,41
	6	5,17	2,33	2,71	1,73	2,34
Моделирование						
Горизонт слоя	1	10,09	1,05	1,12	1,16	0,87
	2	8,14	1,53	1,64	1,70	1,28
	3	7,07	1,80	1,93	1,99	1,50
	4	6,01	2,06	2,21	2,28	1,72
	5	5,75	2,12	2,28	2,35	1,77
	6	5,50	2,19	2,35	2,42	1,83
Среднеквадратическое отклонение, %						
Горизонт слоя	1	1,16300	0,52490	0,08209	0,03201	0,63357
	2	1,86441	0,83918	0,50357	1,15617	1,00956
	3	1,73595	0,83496	0,12726	1,28893	1,16042
	4	0,70749	1,17073	0,72905	1,42170	1,19128
	5	0,17523	0,67658	0,55017	1,04278	0,36491
	6	0,33120	0,14346	0,36240	0,69272	0,51234

Для решения задачи формирования структуры слоя шихты на агломашине необходимо знать влияние технологических параметров загрузочных узлов агломашин и свойства самой шихты на распределение фракций по высоте слоя. Такими параметрами служат тип питателя, угол наклона и длина загрузочного лотка, средний диаметр частиц шихты. Для оценки влияния указанных параметров на распределение фракций шихты по высоте слоя на агломашине проведен численный эксперимент, схема которого

представлена в табл. 4. Эксперимент выполняли для условий ОАО «Запорожсталь», агломашина № 2 (вибрационный питатель) и агломашина № 4 (барабанный питатель).

Для оценки влияния параметров загрузочного устройства (ЗУ) и свойств шихты на распределение ее классов крупности по высоте слоя на агломашине, выделяли три горизонта: верхний, средний и нижний. В табл. 5 и 6 приведены изменения содержания фракций в каждом из горизонтов слоя при изменении параметров модели, приведенных в табл. 4.

Таблица 4 – Схема численного эксперимента по оценке влияния параметров загрузочного узла на распределение фракций агломерационной шихты по высоте слоя

Изменяемый параметр	Средний диаметр частиц, мм	Угол наклона загрузочного лотка, град	Длина загрузочного лотка, м	Высота слоя на аглоленте, м
Средний диаметр частиц $d_{cp}$	4,7	45	1,0	0,4
	4,8	45	1,0	0,4
	4,9	45	1,0	0,4
	5,0	45	1,0	0,4
Угол наклона загрузочного лотка $\alpha$	4,7	45	1,0	0,4
	4,7	46	1,0	0,4
	4,7	47	1,0	0,4
	4,7	48	1,0	0,4
	4,7	49	1,0	0,4
	4,7	50	1,0	0,4
Длина загрузочного лотка $\ell$	4,7	45	1,0	0,4
	4,7	45	1,1	0,4
	4,7	45	1,2	0,4
	4,7	45	1,3	0,4

**Таблица 5** – Влияние параметров ЗУ на распределение фракций по высоте слоя ОАО «Запорожсталь», а. м. № 2

Параметр	Горизонт слоя	Фракция, мм				
		1,5	4,5	8,0	11,0	13,0
$\alpha$	Верхний	3,85	-1,71	-1,15	-0,65	-0,34
	Средний	1,47	-0,65	-0,44	-0,25	-0,13
	Нижний	-4,30	1,91	1,29	0,73	0,38
$\ell$	Верхний	4,21	-1,87	-1,26	-0,71	-0,37
	Средний	1,79	-0,79	-0,53	-0,30	-0,16
	Нижний	-4,36	1,94	1,30	0,74	0,38
$d_{cp}$	Верхний	2,64	-1,17	-0,79	-0,45	-0,23
	Средний	-0,47	0,21	0,14	0,08	0,04
	Нижний	-5,92	2,63	1,77	1,00	0,52

**Таблица 6** – Влияние параметров ЗУ на распределение фракций по высоте слоя ОАО «Запорожсталь», а. м. № 4

Параметр	Горизонт слоя	Фракция, мм		
		1,5	4,5	10,0
$\alpha$	Верхний	5,30	-2,76	-2,54
	Средний	2,10	-1,09	-1,01
	Нижний	-3,73	1,94	1,79
$\ell$	Верхний	5,51	-2,87	-2,65
	Средний	2,52	-1,31	-1,21
	Нижний	-3,93	2,04	1,89
$d_{cp}$	Верхний	2,33	-1,21	-1,12
	Средний	-0,63	0,33	0,30
	Нижний	-5,82	3,05	2,78

Как видно из табл. 5 и 6, увеличение среднего диаметра частиц материала  $d_{cp}$ , угла наклона  $\alpha$  и длины загрузочного лотка  $\ell$  приводят к усилению сегрегации в слое. При этом изменение перечисленных параметров оказывает наибольшее влияние на содержание фракции 1,5 мм в верхнем и нижнем горизонтах слоя, в среднем горизонте слоя фракционный состав материала изменяется незначительно.

Как показывают результаты моделирования, изменение диаметра частиц материала при неизменных параметрах загрузочного лотка оказывает существенное влияние на распределение классов крупности шихты по высоте слоя, и отражает изменение его гранулометрического состава. В условиях ОАО «Запорожсталь» шихта, подготовленная к спеканию, содержит около 44 % фракции 1,5 мм. Поэтому, изменение среднего диаметра частиц оказывает наибольшее влияние на содержание именно этой фракции.

Установлено, что увеличение  $d_{cp}$  частиц шихты сопровождается незначительным повышением содержания фракции 1,5 мм в верхнем горизонте слоя, а в нижнем горизонте ее содержание резко снижается. Содержания остальных фракций изменяются незначительно.

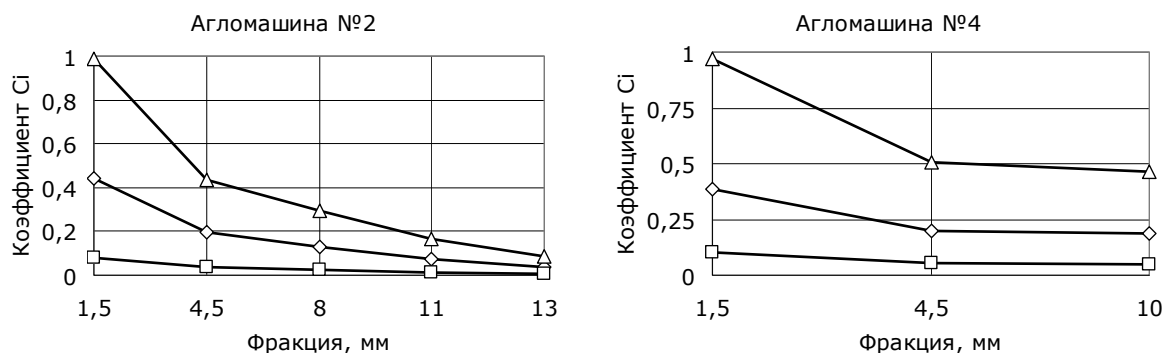
Увеличение угла наклона и длины загрузочного лотка приводит к повышению содержания фракции 1,5 мм в верхнем горизонте слоя, и снижению ее содержания в нижнем горизонте.

Для сравнения влияния различных параметров на сегрегацию шихты по высоте слоя на агломашине воспользуемся безразмерным коэффициентом чувствительности сегрегации к изменению параметра процесса:

$$C_i = \frac{\Delta\Phi_{ij}}{\Delta\Pi_i}, \quad (2)$$

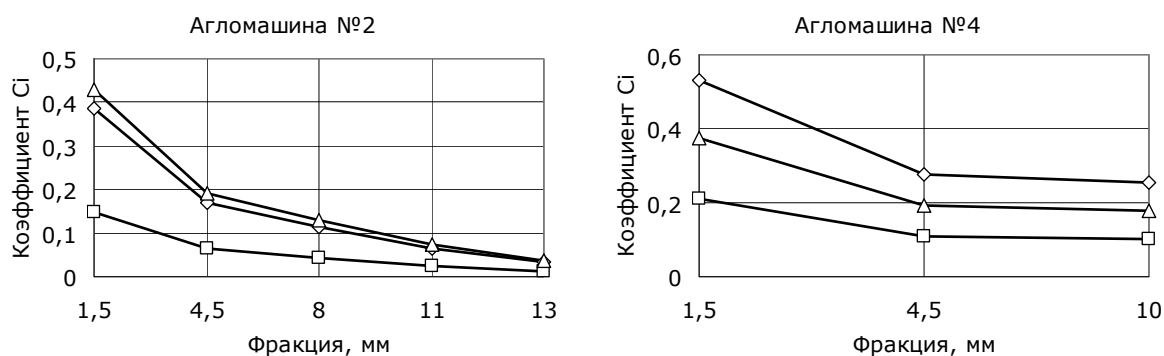
где  $C_i$  – коэффициент чувствительности к изменению  $i$ -го параметра;  $\Delta\Phi_{ij}$  – изменение содержания  $i$ -й фракции в  $j$ -м слое, %;  $\Delta\Pi_i$  – изменение параметра загрузочного устройства или материала, %.

Результаты расчетов коэффициента  $C_i$  для а. м. № 2 и № 4 ОАО «Запорожсталь» приведены на рис. 2-4.

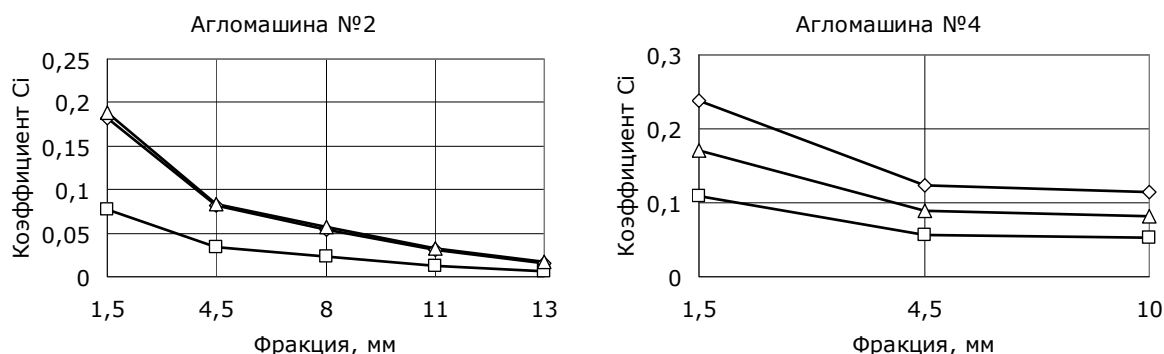


**Рисунок 2** – Чувствительность сегрегации к изменению  $d_{cp}$  частиц шихты

◇, □, Δ - значения коэффициента  $C_i$  соответственно для верхнего, среднего и нижнего горизонтов



**Рисунок 3** – Чувствительность сегрегации к изменению угла наклона загрузочного лотка



**Рисунок 4** – Чувствительность сегрегации к изменению длины загрузочного лотка

Сравнение зависимостей, приведенных на рис. 2-4, показывает, что как для барабанного, так и для вибрационного питателей наибольшее влияние на сегрегацию в слое шихты на агломашине оказывает изменение среднего диаметра частиц материала.

*Выводы:* Установлено, что наиболее эффективно управлять структурой слоя шихты на агломашине можно изменением угла наклона загрузочного лотка, при этом следует стабилизировать средний диаметр частиц материала для сведения к минимуму его влияния на процесс сегрегации по высоте слоя.

### Библиографический список

1. **Пазюк, М. Ю.** Моделирование закономерностей распределения фракций агломерационной шихты по высоте слоя [Текст] // Известия вузов. Черная металлургия. – 1987. – № 4. – С. 142-145.
2. **Мних, А. С.** Дослідження факторів, що впливають на формування шару полідисперсних залізородних матеріалів // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : РВВ, ЗДІА, 2014. – Вип. 1(31). – С. 21-25.
3. **Мних, А. С.** К вопросу исследования механизма формирования слоя полидисперсной агломерационной шихты // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : РВВ, ЗДІА, 2014. – Вип. 2 (32). – С. 34-39.
4. **Мных, А. С.** Определение сегрегации фракций аглошихты, требуемой для стабилизации теплового режима спекания [Текст] / А. С. Мных, А. О. Еремин, И. Н. Мных // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 1/8 (73). – С. 68-73.

**Мних Антон Сергійович**, доктор технічних наук, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Запорізької державної інженерної академії (Запоріжжя, Україна). E-mail: mnikh.anton@gmail.com

**Довгаль Володимир Володимирович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Запорізької державної інженерної академії (Запоріжжя, Україна). E-mail: ur4qqj@ukr.net

**Шумиків Сергій Олександрович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Запорізької державної інженерної академії (Запоріжжя, Україна). E-mail: shusa58@ukr.net

## УПРАВЛІННЯ РОЗПОДІЛОМ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ШИХТИ ЗА ВИСОТОЮ ШАРУ НА АГЛОМАШИНІ ЗА РІЗНИХ УМОВ ЇЇ ЗАВАНТАЖЕННЯ

Пропонується використання математичної моделі, що дозволяє встановити розподіл класів крупності сипкого матеріалу за висотою шару на агломераційній машині. Встановлені закономірності чутливості сегрегації до змінювання параметрів шихти й завантажувального пристрою.

Ключові слова: сегрегація, агломераційна шихта, висота шару, завантажувальний лоток, барабанний живлювач

**Mnikh Anton**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of the Automated Control by the Technological Processes of Zaporizhzhia State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: mnikh.anton@gmail.com

**Dovgal' Vladimir**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Automated Control of Flow Processes, Zaporizhzhia State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: ur4qqj@ukr.net

**Shumykin Sergiy**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of the Automated Control by the Technological Processes of Zaporizhzhia State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: shumsa@ukr.net

## CONTROL BY DISTRIBUTION OF SINTERING MIXTURE ON HEIGHT LAYER ON AGGLOMACHINE AT DIFFERENT CONDITIONS OF ITS CHARGE

It is proposed the use of a mathematical model that makes it possible to determine the distributions of classes of bulk material size by the on the agglomeration machine. The patterns of segregation sensitivity to changes in the parameters of charge and charging device are established.

Key words: segregation, agglomerate charge, the height of layer, charging trough, drum-type feeder

Стаття надійшла до редакції 16.03.2018 р.  
Рецензент, проф. М.Ю. Пазюк

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука  
<http://www.zgia.zp.ua>