

Приборы и оборудование

УДК 66.011:66.040.2

Хвастухин Ю.И., Колесник В.В., Орлик В.Н., Цюпяшук А.Н.

Институт газа НАН Украины, Киев

Математическое моделирование процесса дегидратации мелкодисперсных частиц в псевдооживленном слое инертных частиц. 3. Исследование параметрической чувствительности процесса

На основе разработанного математического обеспечения проведено исследование параметрической чувствительности процесса дегидратации полидисперсных частиц в псевдооживленном слое инертного материала при изменении диаметра обрабатываемых частиц, температуры подогрева исходного материала, нагрузки по обрабатываемому материалу.

Ключевые слова: дегидратация полидисперсных частиц, псевдооживленный слой, параметрическая чувствительность, математическое обеспечение.

На основі розробленого математичного забезпечення проведено дослідження параметричної чутливості процесу дегідратації полідисперсних часток у псевдозрідженому шарі інертного матеріалу при варіюванні діаметра оброблюваних часток, температури підігріву вихідного матеріалу, навантаження щодо матеріалу, який обробляється.

Ключові слова: дегідратація полідисперсних часток, псевдозріджений шар, параметрична чутливість, математичне забезпечення.

На основе разработанного математического обеспечения проведены вычислительные эксперименты (ВЭ) по исследованию влияния конструктивных и технологических параметров на процесс дегидратации мелкодисперсного материала [1, 2].

Варьируя указанные параметры в допустимых диапазонах, расчетным путем получаем детальное распределение температурных и концентрационных полей в реакционном объеме, скорости разогрева обрабатываемых полидисперсных частиц и инертных частиц псевдооживленного слоя (ПС), а также интенсивность и степень удаления связанной влаги из полидисперсного материала.

Сравнение результатов, полученных при различных заданных исходных условиях, позволяет на этапе проектирования находить наилучшие условия реализации процесса в каждом конкретном случае, существенно уменьшая количество физических экспериментов при исследовании процесса дегидратации.

Вычислительные эксперименты проведены для следующих условий:

Высота неподвижного слоя инертных частиц	– 0,2 м
Высота расширенного псевдооживленного слоя	– 0,3 м
Диаметр слоя	– 0,37 м
Диаметр инертных частиц, образующих слой	– 0,00125 м
Расход природного газа	– 10 м ³ /ч
Избыток воздуха	– 1,05

Расход обрабатываемых мелкодисперсных частиц, содержащих связанную воду, $G_p = 75-150$ кг/ч, диаметр частиц $d_p = 50-500$ мкм, порозность частиц $\varepsilon_p = 0,3$.

Теплофизические свойства частиц:

Теплоемкость C_p	– 1,26 кДж/(кг·°С)
Плотность ρ	– 1650 кг/м ³
Массовая доля связанной воды в частицах X_{H_2O}	– 3 %
Температура начала удаления связанной воды θ_p	– 450 °С
Теплота удаления связанной воды ΔH_p	– 2440 кДж/кг

Первостепенное значение при дегидратации мелкодисперсных частиц имеет определение момента достижения размягчения частицы в зависимости от расхода и дисперсности обрабатываемого материала, температуры инертного слоя и времени пребывания в нем, поскольку дальнейший перегрев не вынесенных из слоя частиц может привести к их окомкованию с последующим разрушением ПС и срывом технологического процесса. При этом недогрев мелкодисперсных частиц и недостаточное время их контакта с инертным материалом ПС приводит к недостаточной трансформации обрабатываемых частиц и избыточному содержанию связанной влаги, то есть к браку.

Учитывая вышесказанное, необходимо на этапе проектирования определить режимные характеристики процесса, при которых частицы выносятся из слоя до начала оплавления их поверхности, но при этом возможное содержание оставшейся связанной влаги не снижает качества продукта. С этой целью проведен анализ параметрической чувствительности процесса разогрева частиц и удаления из них избыточной влаги при варьировании основных управляющих параметров: расхода обрабатываемого материала, температуры подогрева исходной смеси, дисперсного состава частиц.

В таблице приведены результаты вычислительных экспериментов, общий анализ которых показывает существенную чувствительность процесса дегидратации к температуре подогрева исходной смеси и дисперсного состава.

Увеличение подогрева исходного сырья повышает температуру инертного слоя, что интенсифицирует процесс разогрева частиц и удаления связанной влаги из них. Однако при этом возникают опасность расплавления мелких частиц и заметное повышение температуры оживающего агента на выходе из слоя. Последнее свидетельствует о низком использовании тепла сжигаемого газа непосредственно в реакционном объеме и может усложнить технологический процесс на этапе разделения твердой и газовой фаз.

Результаты вычислительных экспериментов

d_p , мкм	$t_{g,max}$, °С	$t_{p,max}$, °С	t_i , °С	$W_{ост.вл}$	R_{ev}
$G_p = 75$ кг/ч, $t_{под} = 20$ °С					
50	1942,0	602,7	602,8	0	0
150	1984,5	553,4	607,3	0	0
250	2062,3	453,9	627,0	0,137	0,0000645
350	2110,3	450,2	647,4	0,917	0,00017
500	2156,0	383,2	669,7	1	0,00025
$G_p = 75$ кг/ч, $t_{под} = 100$ °С					
250	224,6	558	737,9	0	0
$G_p = 75$ кг/ч, $t_{под} = 200$ °С					
250	2334,6	699	925,2	0	0
$G_p = 75$ кг/ч, $t_{под} = 300$ °С					
250	2399,0	830,9	1127,4	0	0
$G_p = 100$ кг/ч, $t_{под} = 20$ °С					
50	1722,6	587,0	587,9	0	0
150	1809,3	534,0	588,7	0	0
250	1948,0	451,4	600,5	0,357	0,0000887
350	2021,9	443,7	616,5	1	0,000175
500	2097,4	373,7	639,9	1	0,00025
$G_p = 100$ кг/ч, $t_{под} = 100$ °С					
50	2076,3	634,9	635,1	0	0
150	2107,4	596,1	647,3	0	0
250	2170,3	520,0	683,3	0	0
350	2209,8	455,0	721,8	0,260	0,0001117 6
500	2259,1	450,0	770,4	0,993	0,0002494
$G_p = 100$ кг/ч, $t_{под} = 200$ °С					
50	2245,1	764,2	764,6	0	0
150	2264,7	725,8	792,0	0	0
250	2298,4	652,6	848,8	0	0
350	2320,0	594,5	901,9	0	0
500	2340,0	531,7	958,2	0,00786	0,0000497
$G_p = 100$ кг/ч, $t_{под} = 300$ °С					
50	2321,8	918,5	919,9	0	0
150	2340,0	870,4	966,2	0	0
250	2370,8	788,5	1043,2	0	0
350	2382,7	732,6	1106,5	0	0
500	2400,0	676,8	1171,6	0	0
$G_p = 150$ кг/ч, $t_{под} = 20$ °С					
50	1090,9	584	584,1	0	0
150	1275,4	523,6	578,4	0	0
250	1628,2	450,7	580,6	0,528	0,000101
350	1791,7	429,0	585,9	1	0,000175
500	1935,8	359,6	597,9	1	0,00025
$G_p = 150$ кг/ч, $t_{под} = 100$ °С					
250	2020,0	462,5	615,6	0,01147	0,0000282
$G_p = 150$ кг/ч, $t_{под} = 200$ °С					
250	2224,0	581,3	732,7	0	0
$G_p = 150$ кг/ч, $t_{под} = 300$ °С					
250	2320,0	710,0	900,0	0	0

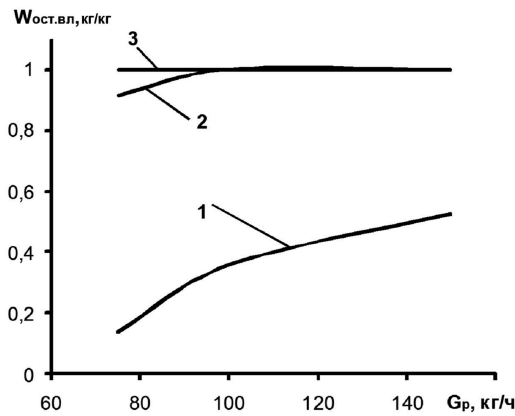


Рис.1. Содержание остаточной влаги в зависимости от расхода материала и диаметра частиц d_p , мкм: 1 – 250; 2 – 350; 3 – 500.

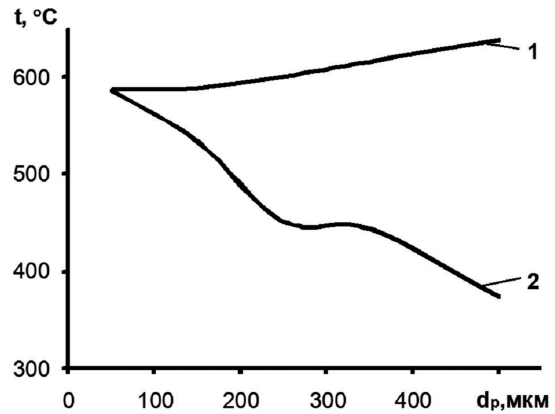


Рис.2. Изменение температуры инертного слоя и температуры поверхности частицы обрабатываемого материала при различной дисперсности последнего ($G_p = 100$ кг/ч, $t_{под} =$...)

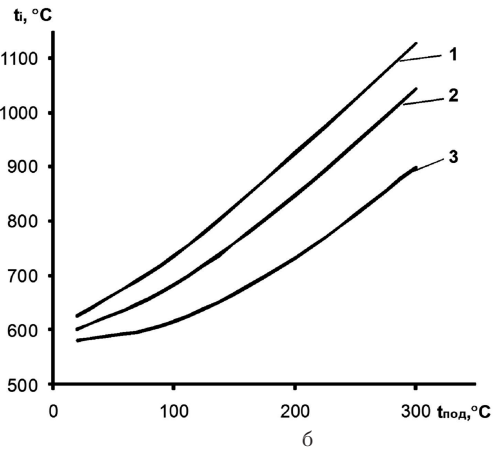
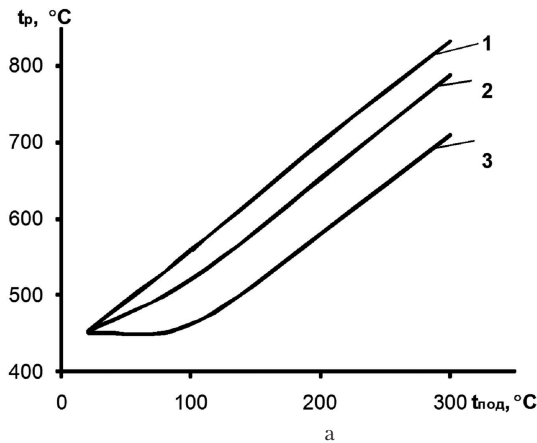


Рис.3. Зависимость температуры обрабатываемых частиц (а) и инертного слоя (б) от температуры подогрева исходной смеси при $d_p = 250$ мкм и различных расходах исходного продукта G_p , кг/ч: 1 – 75; 2 – 100; 3 – 150.

Недостаточный подогрев исходной смеси может приводить к тому, что крупные частицы прогреваются недостаточно и не трансформируются, практически не теряя связанной влаги.

К расходу исходного материала процесс дегидратации полидисперсных частиц менее чувствителен, поскольку лимитирующей стадией процесса является интенсивность тепло- и массообмена в ПС, ограничивающая использование тепла реакции горения, но с увеличением расхода растет теплообменная поверхность в слое. Таким образом, увеличение нагрузки снижает температурный уровень в реакционном объеме, но интенсивность падения температуры подтормаживается одновременным увеличением удельной поверхности теплообмена в слое.

Анализируя предоставленные расчетные данные, можно находить оптимальное решение задачи выбора технологических параметров (дисперсный состав, подогрев исходного материала, нагрузка по обрабатываемому матери-

алу, расход топлива, коэффициент избытка воздуха), обеспечивающих основные показатели процесса дегидратации: требуемую трансформацию обрабатываемых частиц с содержанием влаги, не превышающим допустимый уровень, и исключение угрозы разрушения ПС из-за слипания частиц.

Для наглядности и упрощения анализа параметрической чувствительности процесса наиболее существенные результаты ВЭ представлены на рис.1–3.

Из рис.1 видно, что при недостаточной температуре подогрева исходной смеси ($t_{п} = 20$ °C) частицы диаметром свыше 250 мкм прогревается недостаточно даже при низкой нагрузке. Следовательно, в этом случае при невозможности изменить рабочие условия, необходимо ограничивать диаметр наиболее крупных частиц полидисперсной смеси.

На рис.2 показаны степень возрастания температуры инертных частиц ПС и, следо-

вательно, падение роста максимальной температуры обрабатываемых мелкодисперсных частиц с увеличением их диаметра, что объясняется уменьшением удельной поверхности полидисперсного потока.

На рис.3 приведены зависимости роста температуры обрабатываемых частиц и инертного слоя с ростом температуры подогрева исходной смеси при различных ее расходах.

В рассмотренном математическом описании не учитывается возможный в некоторых случаях процесс торможения удаления связанной влаги из объема обрабатываемых частиц при размягчении и частичном оплавлении их поверхности, что приводит к вспучиванию частиц. При наличии экспериментальных данных по температуре расплавления частиц несколько модифицированное разработанное математическое описание процесса дегидратации может быть использовано для детального исследования совместного процесса дегидратации и вспучивания полидисперсных частиц.

Выводы

На основании проведенных вычислительных экспериментов исследована параметрическая чувствительность процесса дегидратации

полидисперсных частиц в зависимости от диаметра обрабатываемых частиц, температуры подогрева исходного материала, нагрузки по обрабатываемому материалу.

Предложенный подход позволяет количественное исследование процесса на уровне затруднительном или практически невозможном в физическом эксперименте, что существенно углубляет понимание сложных взаимосвязанных физико-химических процессов, сокращает объем физических экспериментов, способствует оптимальному выбору конструктивных и технологических параметров процесса.

Список литературы

1. Хвастухин Ю.И., Колесник В.В., Орлик В.Н., Цюпяшук А.Н. Математическое моделирование процесса дегидратации мелкодисперсных частиц в псевдооживленном слое инертных частиц. 1. Математическое описание процесса // Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2011. — № 6. — С. 66–72.
2. Хвастухин Ю.И., Колесник В.В., Орлик В.Н., Цюпяшук А.Н. Математическое моделирование процесса дегидратации мелкодисперсных частиц в псевдооживленном слое инертных частиц. 2. Разработка математического обеспечения // Там же. — 2012. — № 2. — С. 69–72.

Поступила в редакцию 27.09.12

***Khvastukhin Yu.I., Kolesnyk V.V.,
Orlyk V.N., Tsyupyashuk A.N.***

The Gas Institute of NASU, Kiev

Mathematical Simulation of Fine-Dispersed Particles Dehydration Process in Inert Particles Fluidized Bed. 3. The Process Parametric Sensitivity Investigation

The investigation of parametric sensitivity of polydispersed particles dehydration process in fluidized bed of inert material on the basis of developed software by variation of treated particles diameter, preheating temperature of source material and loadings on the processed material is carried out.

Key words: polydispersed particles dehydration, fluidized bed, parametrical sensitivity, software.

Received September 27, 2012