

РЕЖИМ БЫСТРОГО КИПАЮЩЕГО СЛОЯ ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ  
СИСТЕМЫ ВОЗДУХ–ТВЕРДОЕ ТЕЛО

Быстрый кипящий слой – это двухкомпонентная восходящая гетерогенная система (газ–твердые частицы), характеризующаяся достаточно высоким объемным содержанием твердых частиц ( $0,05 < \beta < 0,2$ ), значительным его изменением по высоте слоя, агрегацией частиц в группы (скопления), обширным обратным перемешиванием твердого компонента и скоростями скольжения, на порядок большими скоростей витания отдельных частиц.

В режиме быстрого, или форсированного процесса псевдоожижения возможно проведение непрерывных гетерогенных химических и каталитических процессов с высокой интенсивностью теплообмена.

Организационная структура и аэродинамические характеристики быстрого кипящего слоя мелкодисперсного катализатора крекинга нефти исследуются в ряде работ советских и зарубежных исследователей [1, 2]. Однако до настоящего времени нет четкой границы существования режима быстрого кипящего слоя двухкомпонентной системы воздух–твердое тело.

Схема и основные характеристики экспериментальной установки для исследования структуры и аэродинамики быстрого кипящего слоя приведены в [3]. Экспериментальный участок – колонка быстрого кипящего слоя – представляет собой цилиндрическую трубу внутренним диаметром 35 мм и высотой 3 м. Нижняя часть колонки высотой 1 м изготовлена из стали, а остальная часть высотой 2 м выполнена из стекла, что позволяет как визуально, так и с помощью оптических средств наблюдать за изменениями в структуре быстрого кипящего слоя. По высоте экспериментального участка имеются миллиметровые отверстия для отбора статического давления. Замер перепада статического давления по высоте быстрого кипящего слоя осуществлялся с помощью U-образных глицириновых дифманометров. Правильность показаний дифманометров, измеряющих перепад давления на разных участках колонки быстрого кипящего слоя, контролировалась сопоставлением суммы их показаний с показаниями дифманометра, измеряющего общий перепад давления. В качестве дисперсного материала использовались корунд со средним диаметром частиц  $\bar{d}_T = 50$  мкм, три фракции кварцевого песка с  $\bar{d}_T = 56,5$ ; 78,8 и 130 мкм и синтетический цеолит MgA с  $\bar{d}_T = 71$  мкм.

Плотность быстрого кипящего слоя  $\rho_{\Pi}$  определялась как отношение перепада статического давления к расстоянию между его отборами. Расход воздуха, подаваемого в колонку быстрого кипящего слоя, измерялся с помощью газовых счетчиков типа РГ-40-1, а расход дисперсного материала – весовым способом 0,01 кг и секундомером 6Г-2 с ценой деления 0,02 с.

Для определения скорости, при которой наступает режим быстрого псевдоожижения  $v_{\text{тр}}$ , колонка быстрого кипящего слоя наполовину заполнялась дисперсным материалом. Затем измерялся расход дисперсного материала на выходе из колонки быстрого кипящего слоя при различных скоростях возду-

ха (рис. 1). По мере приближения скорости несущего воздуха к скорости перехода транспорта  $v_{\text{тр}}$  наблюдался значительный унос частиц. По кривым, представленным на рис. 1, сложно определить точное значение скорости перехода  $v_{\text{тр}}$ .

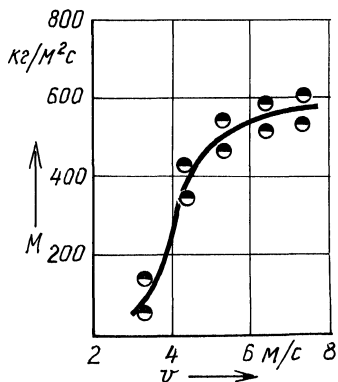


Рис. 1. Зависимость скорости циркуляции кварцевого песка ( $d_{\text{T}} = 78,8$  мкм) от скорости несущего воздуха.

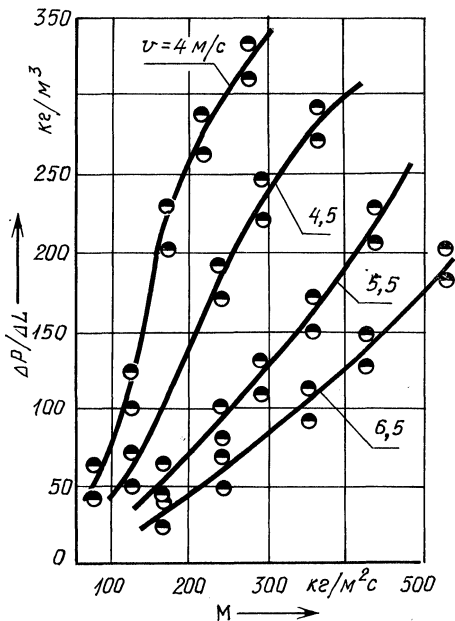


Рис. 2. Зависимость градиента давления от скорости циркуляции кварцевого песка ( $d_{\text{T}} = 78,8$  мкм) при различных скоростях несущего воздуха.

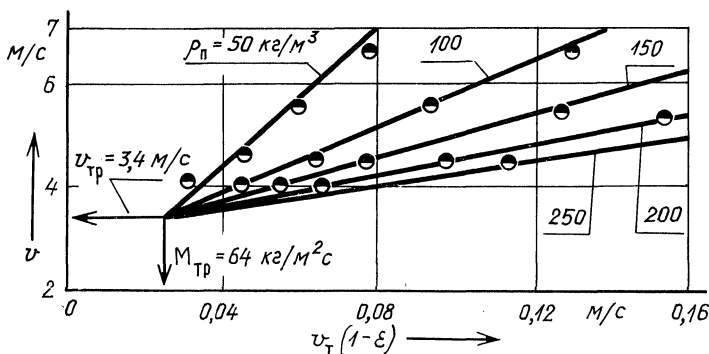


Рис. 3. Зависимость объемной скорости кварцевого песка ( $d_{\text{T}} = 78,8$  мкм) от скорости несущего воздуха при различных плотностях быстрого кипящего слоя.

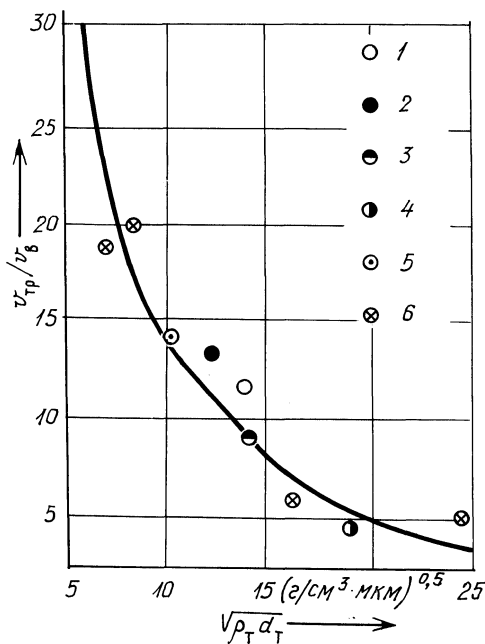


Рис. 4. Зависимость отношения скорости транспорта (перехода) к скорости витания одиночной частицы от параметра  $V^* \rho_T \bar{d}_T$ : 1 – корунд,  $\bar{d}_T = 50$  мкм; 2 – кварцевый песок,  $\bar{d}_T = 56,5$  мкм; 3 – кварцевый песок,  $\bar{d}_T = 78,8$  мкм; 4 – кварцевый песок,  $\bar{d}_T = 130$  мкм; 5 – цеолит MgA,  $\bar{d}_T = 71$  мкм; 6 – данные [2].

Для точного определения скорости перехода была исследована зависимость плотности быстрого кипящего слоя от скорости циркуляции дисперсного материала при различных скоростях воздуха. Градиент давления измерялся в средней части колонки быстрого кипящего слоя на расстоянии 0,87–1,8 м от дна колонки (рис. 2).

На основании рис. 2 были построены зависимости скорости воздуха  $v$  от объемной скорости твердых частиц  $v_T (1 - \epsilon)$  при постоянной плотности быстрого кипящего слоя (рис. 3). Здесь они представляют собой прямые линии, сходящиеся в одной точке, которая соответствует началу направленного движения обеих фаз (твердой и газообразной). Вследствие постоянного уноса дисперсного материала из слоя (турбулентного или пузырькового) эта точка пересечения всегда имеет положительную координату.

В результате проведенных исследований была определена скорость начала режима быстрого псевдооживления. Для корунда она составляет 3,2 м/с, для кварцевого песка – 2,9; для фракций с  $\bar{d}_T = 56,7, 78,8$  и 130 мкм – соответственно 3,4 и 4 м/с; для цеолита MgA – 2,5 м/с.

Следует отметить, что с увеличением параметра  $\sqrt{v_T \bar{d}_T}$  происходит уменьшение отношения скорости перехода  $v_{tr}$  к скорости витания  $v_s$  одиночной частицы в неограниченном пространстве. На рис. 4 представлена такая зависимость, а на рис. 5 указаны ориентировочные границы существования режимов движения системы воздух–твердое тело для мелкодисперсного материала.

Необходимо отметить, что верхняя граница режима быстрого псевдооживления определялась условно по скорости воздуха, при которой визуально уже не наблюдалось обширное обратное перемешивание твердых частиц.

Таким образом, скорость перехода  $v_{tr}$  делит двухкомпонентное течение

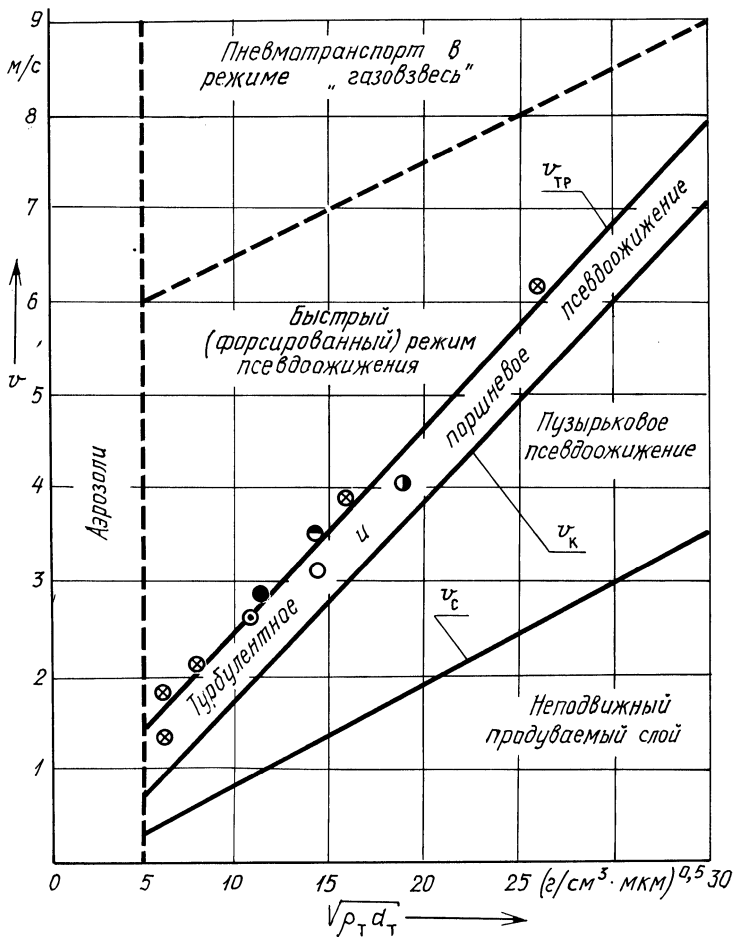


Рис. 5. Границы существования режимов движения системы воздух—твердое тело для мелкодисперсного материала (обозначения условные — на рис. 4).

системы газ—твердое тело на две группы состояний. При скоростях газа, меньших скорости перехода, находятся пузырьковый, турбулентный и поршневой режимы псевдооживления. В этих режимах слой, за исключением некоторого уноса частиц, не испытывает направленного движения. При скорости газа, большей скорости перехода, находится режим направленного движения дисперсного материала, который охватывает широкий диапазон состояний: от течения в режиме быстрого кипящего слоя до течения в режиме газозвеси.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Разумов И.М. Пневно- и гидротранспорт в химической промышленности. — М., 1979. — 248 с. 2. I. Yeruschalmi and N.T. Cankurt. Further Studies of the Regimes of Fluidization // Powder Technology, 1979, v. 24, p. 187–205. 3. Сапун Н.Н., Славчев С.Д. Быстрый кипящий слой // Исследование процессов переноса в дисперсных системах. — Минск, 1981. — С. 106–112.