

МЕТОД РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ, В КОТОРЫХ ВЕЩЕСТВО ПРОХОДИТ ЗОНЫ С РАЗНЫМ РЕЖИМОМ ОБРАБОТКИ

Данильчук В.С., Ратасеп М.А.

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет), Санкт-Петербург*

Ключевые слова: влагосодержание, кривая сушки, случайное время пребывания, непрерывный режим, метод Монте-Карло.

Аннотация. При анализе процессов, в которых вещество при обработке проходит через зоны с различными режимами обработки может оказаться весьма эффективным метод Монте-Карло. Расчет изменяемого параметра в каждой зоне производится по известным для периодического процесса кинетическим зависимостям. При этом время пребывания частиц в каждой зоне является случайной величиной. Результатом расчета является распределение изменяемого параметра (в рассмотренном примере-влагосодержания) на выгрузке, которое несет полную информацию о степени завершенности процесса.

A METHOD FOR CALCULATING PROCESSES IN WHICH A SUBSTANCE PASSES THROUGH ZONES WITH DIFFERENT PROCESSING MODES

Danilchuk V.S., Ratasep M.A.

*Saint-Petersburg State Technological institute (technical university),
Saint-Petersburg*

Keywords: moisture content, drying curve, random residence time, continuous mode, Monte Carlo method.

Abstract. When analyzing processes in which a substance passes through zones with different processing modes during processing, the Monte Carlo method can be very effective. The calculation of the variable parameter in each zone is performed according to the kinetic dependencies known for the periodic process. At the same time, the residence time of particles in each zone is a random variable. The result of the calculation is the distribution of the measured parameter (in the example considered, moisture content) on the discharge, which carries complete information about the degree of completion of the process.

В химической и смежных отраслях промышленности встречаются непрерывные процессы, в которых вещество при обработке проходит через зоны с различными режимами обработки. Если изменение свойств веществ в этих зонах подчиняется разным кинетическим уравнениям, то для расчета степени завершенности процесса информации о распределении времени пребывания элементов потока в аппарате недостаточно. Если зон с разным режимом обработки несколько, то получение аналитического решения даже при линейной зависимости параметров от времени представляет трудную задачу. В этом случае может оказаться весьма эффективным метод Монте-Карло.

Рассмотрим пример с сушильным аппаратом во взвешенном слое [1, 2], схема конструкции которого приведена на рисунке 1. В аппарате материал последовательно проходит через зоны (секции) с различной температурой сушильного агента. Например, в первую секцию подается воздух с высокой

температурой, которая снижается от секции к секции по мере приближения к выгрузке. Такая схема организации процесса может встретиться при сушке термочувствительных продуктов, требующих деликатной сушки по мере снижения влагосодержания материала. При непрерывном режиме работы в описанном случае может оказаться, что частицы, которые находились в аппарате более длительное время, в результате потеряют влагу в меньшей степени. Это кажущееся на первый взгляд противоречие возникает в результате того, что в данном случае имеет значение не только время пребывания частиц в аппарате в целом, но и то, как это время для каждой частицы распределено между отдельными зонами.

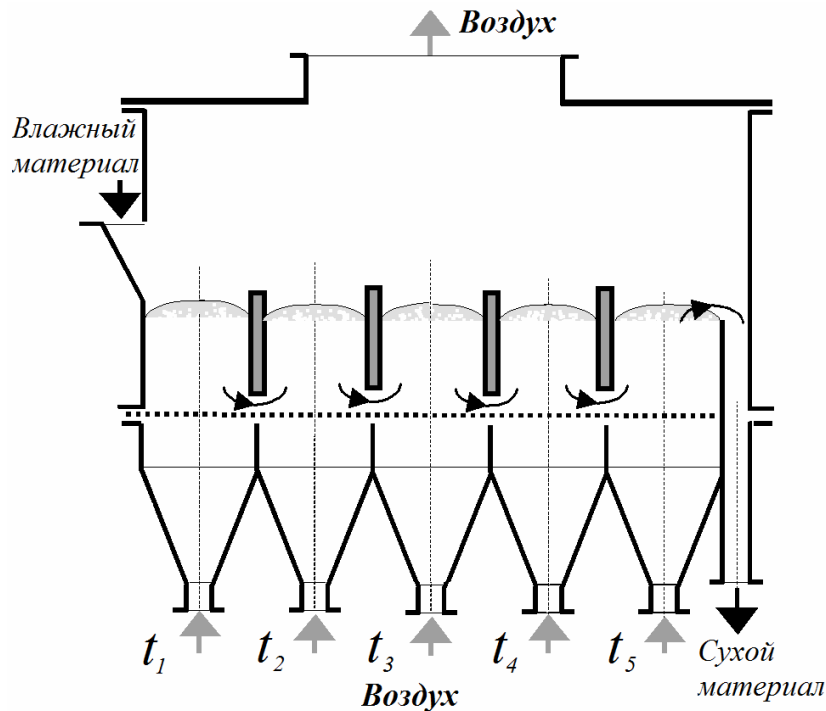


Рис. 1. Сушильный аппарат с дифференцированными условиями обработки в отдельных секциях

При использовании метода Монте-Карло схема расчета процессов с указанными особенностями может быть следующей. Предположим, что изменение некоторого свойства (в рассматриваемом примере это свойство – влагосодержание материала) в течение промежутка времени $\Delta\tau_i$ от момента входа частицы в некоторую зону i до момента выхода из нее происходит в соответствии с некоторой известной кинетической зависимостью и имеется возможность вычислить изменение данного свойства за промежуток времени $\Delta\tau_i$ в этой зоне. Например, в рассматриваемом случае условия процесса в каждой зоне могут быть обобщены в виде кривых сушки в периодическом режиме при разной температуре.

Предположим, что изменение влагосодержания частицы в отдельной секции непрерывно действующего аппарата будет происходить аналогично периодическому процессу сушки. Поскольку время $\Delta\tau_i$ – случайная величина, то ее значение может быть определено путем розыгрыша стандартной случайной равномерно распределенной на интервале 0...1 величины γ с последующим ее преобразованием в соответствии с имеющей место структурой потоков,

определяющей распределение времени пребывания вещества в конкретной ячейке. Например, для ячейки полного перемешивания, которой является отдельная секция аппарата со взвешенным слоем, длительность $\Delta\tau_i$ может быть определена по формуле $\Delta\tau_i = -\langle\tau_i\rangle \ln \gamma_i$, где $\langle\tau_i\rangle$ – среднее время пребывания потока в ячейке с номером i , равное отношению объема ячейки к объемному расходу вещества [3].

Аналогичным образом определяется время пребывания частицы материала для остальных секций аппарата, после чего становится возможным рассчитать значение определяемого свойства на момент перехода из одной зоны в другую. Для каждой зоны расчет производится в соответствии с новой кинетической зависимостью, соответствующей условиям сушки в этой зоне и определенной опытным путем в периодическом режиме.

Для демонстрации возможностей метода Монте-Карло будем считать, что представление кривых сушки при разных температурных режимах в нашем примере возможно в виде простой зависимости: $u = u_0 \exp(-k_t \tau)$, где k_t – постоянная для данного температурного режима величина. На практике для приближенного расчета может оказаться достаточным использование двух-трех функций для аппроксимации отдельных участков экспериментальных кривых сушки.

Последовательность изменения влагосодержания отдельных частиц по мере их продвижения на выгрузку приведена на рисунке 2. Каждая кривая соответствует зависимости влагосодержания от времени при сушке материала при определенной температуре в периодическом режиме. Выделенные участки кривых представляют одну из возможных «траекторий» имитируемого процесса сушки для отдельной частицы.

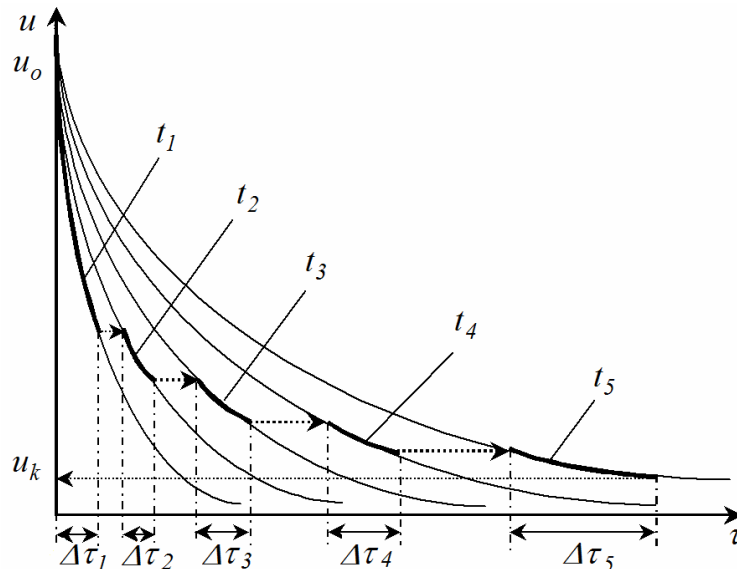


Рис. 2. Кривые сушки в периодическом режиме и одна из возможных «траекторий» процесса сушки отдельной частицы в непрерывном режиме

Полученное значение u_k конечного влагосодержания одной частицы является случайной величиной. Для получения полной картины результатов сушки необходимо провести проделанный статистический эксперимент многократно. Результатом расчета будет кривая распределения влагосодержания

частиц на выгрузке, которая несет полную информацию о степени завершенности процесса сушки.

Аналогичная приведенной схема расчета может быть применена и для других технологических процессов, в которых для отдельных частиц обрабатываемого материала наблюдается неравномерное распределение времени пребывания в зонах с разным режимом.

Например, указанным способом расчета можно воспользоваться при определении вероятности попадания нерастворенных частиц на выгрузку из каскада аппаратов непрерывного действия. Изменяющимися от одного аппарата каскада к другому условиями в данном случае будут температура среды, равновесная концентрация, интенсивность перемешивания, различная структура потоков. В этом случае применение метода Монте-Карло значительно упрощает процедуру расчета и позволяет его автоматизировать.

Список литературы

1. Веригин А.Н., Данильчук В.С., Неземаев Н.А. Машины и аппараты переработки дисперсных материалов. Примеры создания / Под ред. А.Н. Веригина. – СПб.: Изд-во «Лань», 2018. – 800 с.
2. Романков П.Г., Рашковская Н.Б. Сушка во взвешенном состоянии. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Л.: Химия, 1979. – 272 с.
3. Веригин А.Н., Федоров В.Н., Данильчук В.С. Химико-технологические агрегаты: Имитационное моделирование. – СПб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 1998. – 220 с.

Сведения об авторах:

Данильчук Виталий Сергеевич – к.т.н., доцент;

Ратасеп Михаил Альбертович – к.т.н. доцент.