

Об особенностях управления процессом периодической ректификации

В. Л. Чечулин,
ст. преп., chechulinvl@mail.ru
ПГНИУ, г. Пермь

Описаны особенности управления процессом периодической ректификации, на примере ректификационного разделения хлоридов тантала и ниобия; использована модификация известного подхода к управлению периодическими процессами, обозначены основные математические процедуры, применимые в процессе управления.

Features of management of process of periodic rectification, on the example of rectifying division of chlorides of tantalum and niobium are described; modification of the known approach to management of periodic processes is used, the main mathematical procedures applicable in management process are designated.

Периодическая ректификация применяется для разделения разнотемпературно кипящих компонентов в некоторых процессах редкоземельной металлургии (например при разделении хлоридов тантала и ниобия [1]). При всей успешности термодинамического моделирования состояния бинарных смесей без азеотропов [2], в том числе бинарной системы хлоридов тантала и ниобия ($TaCl_5-NbCl_5$), см. рис. 1, прямое моделирование этого процесса пригодно только для построения аппаратуры, определения параметров ректификационной колонны, для ведения периодического процесса ректификации [1, с. 74]. Для управления качеством получаемого продукта (качеством разделения) такое моделирование неприменимо, т. к. до окончания процесса практически невозможен пробоотбор для анализа разделяемой смеси, поэтому способ управления таким процессом отличается от способов управления процессами непрерывной ректификации [3], [4].

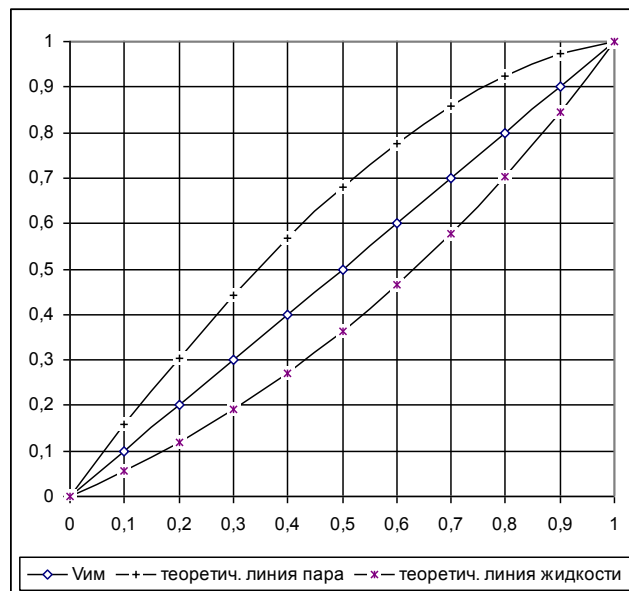


рис. 1. Модель состояния бинарной смеси тантала и ниобия ($TaCl_5-NbCl_5$), вычислено по [2]

Ближайшим к периодической ректификации аналогом, с построенным алгоритмом управления является процесс периодической вакуумной сепарации губчатого титана [5], [6, с. 62 и след.]. В отличие от прототипирующего процесса теоретический критерий окончания процесса периодической ректификации — это равенство нулю математического ожидания первой производной от температуры кипения разделяемой смеси компонент с заданной долей вероятности (например, $p=0,99$).

Тогда моменты окончания периодических процессов ректификации по указанному критерию перенормируются к 1, и строится алгоритм статистической коррекции длительности процессов, связывающий качество разделения и корректирующий коэффициент продления процессов, относительно теоретического момента их окончания, аналогичный применяемому в [5].

Итак, при периодической ректификации процесс заканчивается, когда из смеси хлоридов $TaCl_5-NbCl_5$ заканчивается испаряться более легкокипящий хлорид тантала ($NbCl_5$ $t_{кип} = 248,3$ °C; $TaCl_5$ $t_{кип} = 234,0$ °C [1]), но как только температура стабилизируется, то начнёт испаряться высококипящий хлорид ниобия. При этом управление энергопоток в куб-испаритель выполняется по давлению (внизу ректификационной колонны, близ куба-испарителя поддерживается постоянное давление, при снижении давления энергопоток в колонну подлежит увеличению, при повышении — уменьшению, при минимальной амплитуде изменений давления).

Задача управления для такого периодического процесса сводится к тому, чтобы определить момент когда температура исходной смеси выйдет на участок стабилизации, но ещё не стабилизируется. Для этого (как и для прототипируемого процесса [6]) применим статистический алгоритм.

Теоретическим моментом окончания является равенство нулю матожидания первой производной температуры испарения с заданной мерой вероятности ($p=0,99$), причём вероятность срабатывания и прочие настройки статистического t -критерия Стьюдента [7, с. 633] выбираемы так, чтобы теоретический момент окончания достигался несколько раньше, чем окончание отгонки легкокипящего компонента.

Только при таком условии возможно применение алгоритма коррекции длительности качества процесса, особенность которого в данном случае заключается в том, что при получении легкокипящего хлорида ниобия $NbCl_5$ в периодическом процессе ректификации качество разделения (отсутствие высококипящего компонента) падает при увеличении длительности процесса, см. рис. 2.

Для работы алгоритма на серии процессов периодической ректификации также необходимо применение принципа малой вариации параметра управления [6].

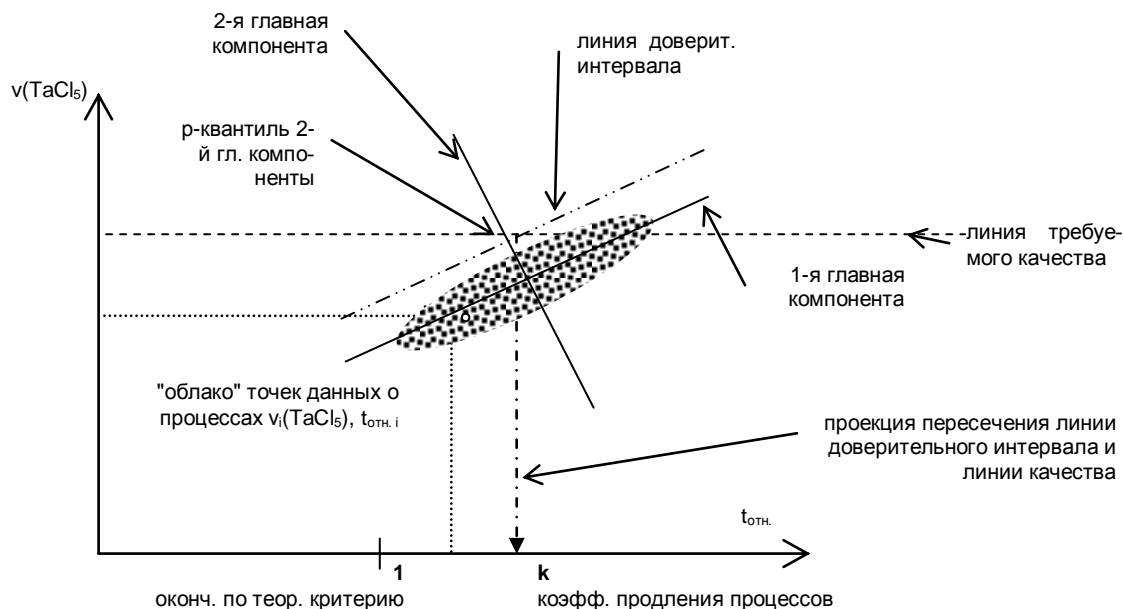


рис. 2. Изображение данных о серии процессов (схематично), с применением метода главных компонент для коррекции рекомендуемой длительности процесса

Таким образом, при использовании одинаковых математических методов сходство и отличие управления периодическим процессом ректификации и периодическим процессом вакуумной сепарации показано.

(Автор выражает благодарность А.В. Чубу, ПАО "Соликамский магниевый завод", указавшему в 2016 г. на возможность применения исходных алгоритмов к процессу периодической ректификации)

Литература

1. Химическая технология ниобия и тантала / Маслов А. А., Оствальд Р. В., Шагалов В. В., Маслова Е. С., Горенюк Ю. С.; Томский политехнический университет. Томск; Издательство Томского политехнического университета, 2010.— 97с.
2. Чечулин В. Л. О моделировании бинарных систем (без азеотропов) // Вестник Пермского университета. Серия: Химия, 2012 №4, с. 86–88.
3. Чечулин В. Л., Сафонова Д. Н. Управление процессом ректификации // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта, CAD/CAM/PDM: Труды 13-й междунар. конф. М.: ИПУ РАН, 2013, с. 145–149.
4. Чечулин В. Л., Сафонова Д. Н. Об особенностях моделирования ректификации сложных смесей // Вестник Пермского университета. Серия: Химия 2014. №2, с. 112–123.
5. Чечулин В. Л., Мельков Н. М. Особенности управления качеством периодического процесса вакуумной сепарации // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM–2010), Труды 10-й междунар. конф., М.: ИПУ РАН, 2010, с. 228–232.
6. Чечулин В. Л., Метод пространства состояний управления качеством сложных химико-технологических процессов / монография, Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2011. – 114 с.
7. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике: для научных работников и инженеров / пер. с англ., ред. Араманович И. Г. М.: Наука. 1977.— 832 с.