

Программа – модель ректификационной колонны RectCol

О программе

Программа была написана для себя, чтобы лучше понять процессы, происходящие в колонне, в частности механизмов влияния возврата флегмы (флегмового числа), охлаждения флегмы из дефлегматора и охлаждения верхней части колонны. Оказалось, что с ее помощью можно делать (и видеть) гораздо больше, поэтому оформил ее для общего употребления. На мой взгляд, получилось прекрасное пособие для начинающих. Судите сами.

Эта программа моделирует колонну честно, без использования каких-либо готовых уравнений для колонны (типа графического расчета по кривым). В нее заложены только зависимость отношения концентрации спирта в паре и в растворе от концентрации последнего, зависимость температуры кипения раствора от его концентрации и (только для справки) пересчет массового процента спирта в объемный. Все зависимости представлены аппроксимационными формулами. Программа честно и тупо считает конденсацию и испарение в каждой тарелке БЕЗ специального учета массового и энергетического балансов. То, что в результате эти балансы сходятся в каждой тарелке и колонне в целом, служит признаком правильности расчета (в программе есть точки контроля дисбаланса, но они работают только в отладочном режиме).

Модель ведет себя как настоящая колонна и с ней нужно обращаться соответственно. При запуске имеет смысл сначала прогнать ее с максимальным флегмовым числом, иначе колонна может не стартовать, особенно при малом проценте спирта в браге.

Модель несколько упрощена, т.е. пока не учитываются температурные зависимости теплот испарения воды и пара и их теплоемкостей и некоторые другие тонкие вещи. Их учет предусмотрен (и опробован), но не хватает точных данных. При учете этих зависимостей (по неточным данным) выяснилось, что существенных изменений не произошло. Поэтому, пока нет точных данных, они не учитываются.

Газодинамические параметры также не учитываются, т.е. захлеб колонны не моделируется.

Эта модель скорее качественная, чем количественная. Хотя сравнение ее результатов с другими программами расчета колонны дает довольно точное соответствие. Небольшая разница обусловлена, скорее всего, расхождением в аппроксимации основных кривых.

Программа по очереди просчитывает, что делается в тарелках, начиная с нижней. Одна итерация – обсчет всех тарелок колонны. Поскольку не было времени возиться с устойчивостью итераций, установлены фиксированными теплоемкость самой тарелки (1000) и максимальное количество флегмы в тарелке (100, при превышении этого значения избыток флегмы сливается на предыдущую ступень). Заданные значения обеспечивают устойчивость модели. Жесткая фиксация этих параметров не влияет на статический режим колонны, но изменяет ее динамику (запуск и т.д.). При анализе динамики колонны, следует это учитывать. Значения параметров можно и изменить, но, пока, нет времени этим заняться. Для сохранения устойчивости модели не следует использовать массу пара больше нескольких грамм (максимальное количество флегмы в тарелке должно быть много больше массы пара).

В модели еще могли остаться какие-то ошибки. Я, при отладке, отловил их много, но, наверное, не все (их можно ловить только в конкретных известных режимах). Поэтому прокатывайте всякие режимы и не стесняйтесь ругаться.

Защита от дурака тоже пока не предусмотрена, поэтому проверяйте задаваемые режимы. Наиболее частая ошибка – после изменения концентрации спирта в баке – не пересчитана температура пара. Сам много раз забывал пересчитать. Ну и не нужно задавать нулевое и отрицательное число тарелок, отрицательные массы, температуры, концентрации и т.п.

Общий вид окна программы

Программа моделирования ректификационной колонны - RectCol

File View Help SetParams StartModel NextIteration

№ Тар	ТарМассаФ	ТарКонФ	ТарТемп	Пар-Масса	Пар-Кон	Пар-Темп	Флег-Масса	Флег-Кон	Флег-Темп
Тар-00	100.000	0.238	85.860	1.191	0.687	85.860	0.783	0.563	81.284
Тар-01	100.000	0.563	81.284	1.356	0.791	81.284	0.948	0.733	79.842
Тар-02	100.000	0.733	79.842	1.441	0.837	79.842	1.033	0.802	79.322
Тар-03	100.000	0.802	79.322	1.494	0.863	79.322	1.086	0.840	79.050
Тар-04	100.000	0.840	79.050	1.530	0.880	79.050	1.122	0.864	78.878
Тар-05	100.000	0.864	78.878	1.558	0.892	78.878	1.150	0.881	78.756
Тар-06	100.000	0.881	78.756	1.580	0.902	78.756	1.172	0.895	78.663
Тар-07	100.000	0.895	78.663	1.599	0.910	78.663	1.191	0.906	78.588
Тар-08	100.000	0.906	78.588	1.615	0.917	78.588	1.208	0.915	78.523
Тар-09	100.000	0.915	78.523	1.631	0.924	78.523	1.223	0.924	78.523

Параметры пара из бака
Масса пара: 1.000
Конц. сп. в паре: 0.518
Темпер. пара: 91.330

Параметры возвращаемой в бак флегмы
Масса флегм.: 0.592
Конц. сп. во флегме: 0.238
Темпер. флегмы: 85.860

Мощность на входе колонны: 1629.603
Мощность уходящая от верха колонны: 1548.879

Процент спирта в дистилляте: 92.355 (объемных 94.845)
Масса дистиллята: 0.408 (1467.8 гр/час)

Ready NUM

Команды меню

Команда «*SaveAs*» меню «*Fail*» позволяет записать текущие данные в указанный файл в текстовом виде.

«*Help*» и «*View*» - стандартные.

Команда «*SetParams*» запускает диалог установки параметров (см. далее).

Команда «*StartModel*» запускает цикл итераций модели с ее предварительной инициализацией (установкой заданных начальных температур тарелок, отсутствии в них флегмы и т.д.).

Команда «*NextIteration*» запускает очередной цикл итераций модели без инициализации. Параметры колонны можно менять в промежутках между циклами итераций. Если после очередного цикла изменить параметры (командой «*SetParams*») то изменятся только те значения, которые используются при текущем расчете (флегмовое число, концентрация спирта, температура пара и т.п.). Изменение начальных температур тарелок не повлияет на результат.

Окно данных колонны (верхнее).

№ Тар	ТарМассаФ	ТарКонФ	ТарТемп	Пар-Масса	Пар-Кон	Пар-Темп	Флег-Масса	Флег-Кон	Флег-Темп
Тар-00	100.000	0.238	85.860	1.191	0.687	85.860	0.783	0.563	81.284
Тар-01	100.000	0.563	81.284	1.356	0.791	81.284	0.948	0.733	79.842
Тар-02	100.000	0.733	79.842	1.441	0.837	79.842	1.033	0.802	79.322
Тар-03	100.000	0.802	79.322	1.494	0.863	79.322	1.086	0.840	79.050
Тар-04	100.000	0.840	79.050	1.530	0.880	79.050	1.122	0.864	78.878
Тар-05	100.000	0.864	78.878	1.558	0.892	78.878	1.150	0.881	78.756
Тар-06	100.000	0.881	78.756	1.580	0.902	78.756	1.172	0.895	78.663
Тар-07	100.000	0.895	78.663	1.599	0.910	78.663	1.191	0.906	78.588
Тар-08	100.000	0.906	78.588	1.615	0.917	78.588	1.208	0.915	78.523
Тар-09	100.000	0.915	78.523	1.631	0.924	78.523	1.223	0.924	78.523

В каждой строчке приводятся данные для одной тарелки. В первом столбце – номер тарелки. Тарелка 0 – нижняя.

В следующих трех столбцах – данные о флегме в тарелке – масса, массовая концентрация спирта во флегме тарелки и температура флегмы в тарелке.

В следующих трех столбцах приводятся данные о паре над данной тарелкой – так же, т.е. масса (в единицу времени в граммах), концентрация спирта и температура. В трех последних столбцах приводятся аналогичные данные о флегме, стекающей на данную тарелку сверху (со следующей тарелки).

Данные о паре, поступающем в нижнюю тарелку, и флегме, стекающей с нее в бак, приводятся отдельно в нижнем окне.

Пар, уходящий с последней тарелки, поступает в дефлегматор. Возвращаемая из дефлегматора флегма поступает на последнюю тарелку (три последних столбца данных для последней тарелки).

Окно дополнительных данных (нижнее)

Параметры пара из бака			Параметры возвращаемой в бак флегмы		
Масса пара	Конц. сп. в паре	Темпер. пара	Масса флегм.	Конц. сп. во флегме	Темпер. флегмы
1.000	0.518	91.330	0.592	0.238	85.860
Мощность на входе колонны		1629.603	Мощность уходящая от верха колонны		1548.879
Процент спирта в дистилляте			Масса дистиллята		
92.355 (объемных 94.845)			0.408 (1467.8 гр/час)		

Здесь все понятно. Массы – в граммах. Концентрации спирта – в долях, а не в процентах (если специально не сказано). Мощность на входе колонны – мощность нагревателя (теплопотери в окружающую среду не учитываются). А вот мощность уходящая с верха колонны – тут у меня есть вопросы. Сейчас она рассчитывается как энергия, необходимая для испарения выходной массы пара (в единицу времени). То, что производится отбор флегмы и охлаждение возвращаемой флегмы в эту цифру не входит (но учитывается в модели). Может кто подскажет как здесь правильно считать. Эти цифры исторически приводятся для отладки (контроля ошибки в общем энергобалансе). При отсутствии отбора флегмы они должны совпадать. Пока не обращайтесь на этот параметр внимания, я еще думаю над ним.

Диалог установки параметров

Число тарелок	Начальная температура тарелок	Масса пара на входе	Доля спирта в браге	Охлаждение флегмы (град)	Мощн. внешнего охлажд. верхней тарелки
10	20	1	0.2	0	0

Число итераций между индик.	Температура пара	Козфф. возвр флегмы
10000	87.0518855410	3

☒ Флегмовое число

☒ Автомат.

Число тарелок. Здесь можно задать число тарелок колонны. После его изменения нужно рестартовать модель. Число тарелок не ограничено, но лучше не задавать больше 100, будет довольно медленно считать.

Начальная температура тарелок. Для ускорения запуска колонны в начале моделирования можно «подогреть» колонну, задав большую начальную температуру тарелок колонны. Не рекомендуется, но, если интересно, попробуйте. Идут очень кривые и интересные процессы.

Масса пара на входе (в колонну). Задаёт массу пара в единицу времени. В этой модели именно этот параметр (вместе с температурой пара) является задающим, а мощность нагревателя – какая получится. Если нужно вывести мощность нагревателя в заданное значение – меняйте этот параметр.

Доля (массовая) спирта в браге. Это понятно. Только это именно доля, а не процент.

Температура пара. Температура пара, поступающего из бака. Зависит от концентрации спирта в баке. Ее можно ввести или рассчитать. При изменении концентрации спирта можно задать новое значение температуры пара, нажать кнопку «Рассчитать». Автоматический расчет делается при выходе из диалога по «ОК», если выбрана пупочка «Автомат.». Полный автомат не сделан, чтобы иметь возможность экспериментировать с температурой пара.

Коэффициент возврата флегмы – доля (именно доля) флегмы, возвращаемой в колонну. Если хочется работать со стандартным флегмовым числом – следует выбрать пупочку «Флегмовое число».

Охлаждение флегмы. Этот параметр задает охлаждение возвращаемой из дефлегматора флегмы (в градусах). Эта энергия учитывается в модели, но не фигурирует в приводимой цифре снимаемой с колонны мощности.

Мощность внешнего охлаждения верхней тарелки. Это сделано для экспериментов с дополнительным охлаждением верней тарелки колонны. Охлаждение остальных тарелок не предусмотрено (я пробовал, их неравномерное охлаждение сильно перекашивает колонну и неинтересно). В принципе, можно сделать хоть индивидуальное охлаждение каждой тарелки.

Число итераций между индикациями. Это значение задает число итерационных циклов при нажатии кнопок меню «StartModel» и «NextIteration». Если интересна динамика колонны следует устанавливать значения 10...100, если только результат – 1000...100000. При увеличении числа тарелок следует увеличивать число итераций, т.к. колонна устаканивается значительно медленнее.

Кнопка «SaveAsDefault» запоминает значения настроечных параметров в registry и, при следующем запуске программы, они будут восстановлены.