

## Пара вопросов о дистилляции и новая идея для обсуждения.

*«Ни одна теория не может считаться верной, пока на основе этой теории не создано работоспособное устройство».*

*Мюррей Лейнстер (Вильям Фитцджеральд Дженкинс)*

*16 июня 1896 – 8 июня 1965.*

На форумах любителей дистилляции в последнее время обсуждается множество вопросов. Это здорово, так как люди перестают принимать на веру «прописные истины» перед лицом того обстоятельства, что высказанная и пересказанная кем-то «мудрость» начинает быстро восприниматься как «факт» или, как минимум «общепринятое допущение».

В этой статье я попытался поближе рассмотреть процессы, происходящие в колонне с надеждой разрешить хотя бы некоторые из поднятых на форуме вопросов.

Но! Не воспринимайте написанное здесь как некое «последнее слово» или «окончательный диагноз». Наверное, никто до конца не способен разрешить вопросы, задаваемые нам Жизнью, Вселенной и Все Остальным. Может быть, кто-то еще найдет ошибки в следующих ниже рассуждениях. Может быть, я поменяю свое мнение. Да и ко всему прочему, я могу просто ошибаться.

Дистилляция была известна и широко применялась на протяжении веков. Однако, этот процесс воспринимался совсем не так, как это делают современные любители домашних крепких напитков. К примеру, это важная технология используется поварами для концентрации и изменения запахов и консистенции готовящихся блюд. «Уваривание» соусов – это просто один из вариантов приложения тепловой энергии к тому, что находится в кастрюле или на сковородке с целью удалить летучие вещества, такие как вода, этанол в вине и крепких напитках. Цель уваривания – оставить в сосуде с пищей более концентрированную смесь сильнопахнущих веществ.

«Поджигание» в исполнении Крепа Сузетта – это просто театрализованная демонстрация метода уваривания.

Некоторые из нас упускают из вида тот факт, что кипятить жидкость для удаления из нее летучих компонентов не обязательно. С этим вполне справляются процессы испарения. Но! Вы просто обязаны прибегнуть к кипячению, если хотите ускорить процесс.

Предположим, что Вы оставили стакан с виски на ночь. Утром обнаружится, что этанол практически весь испарился(только Бога ради, не переводите на этот опыт односолодовый виски!).

Профессионалы дистилляции прекрасно знают о «доле ангелов». Испарение этанола через поры в древесине бочек, хранящихся в холодных складах, только в Шотландии приводит к потере 160 миллионов бутылок в год. И все это достается ангелам. Думаю, ангелы счастливы.

Кипячение содержимого этих бочек в открытых сосудах привело бы к тому же результату в максимально короткое время. Возможно, умеренно пьющие ангелы поняли бы, что такое ад!

Таким образом, вовсе не обязательно прибегать к кипячению, чтобы удалить из жидкости наиболее летучие компоненты, так как это может ускорить протекание химических реакций до такой степени, что начнут образовываться разного рода нежелательные примеси, способные испортить продукт.

При «дистилляции» паров этого не происходит, так как жидкость удерживается при температуре, которая не предполагает протекание нежелательных химических реакций.

На границе жидкости и воздуха из нагретых молекул образуются пары, которые вполне возможно отводить и собирать. Пар, проходя границу раздела сред или проникая через нее, нагревает молекулы жидкости. Этого нагрева вполне хватает, чтобы добиться быстрого испарения, смочь быстро отвести и собрать пар.

Важно помнить, что ничего магического в кипении нет. Это всего лишь разогрев, характеризующийся температурой, при которой в жидкости возникают пузырьки, увеличивающие поверхность раздела двух сред – газа и жидкости. А чем больше эта поверхность, тем интенсивней испарение.

Также следует помнить о том, что скорость испарения с границы раздела сред увеличивается по мере роста скорости движения пара. Сушка одежды

### 3 The Compleat Distiller или Наш Человек у Apparata

---

на ветру прекрасно иллюстрирует это теоретическое положение. Пузырьки, образующиеся в кипящей жидкости, увеличивают площадь поверхности границы жидкости и пара. Но пар в пузырьках остается неподвижным и насыщенным.

Если мы поместим вентилятор в сосуд с кипящей жидкостью, скорость испарения возрастет. Если мы затем пропустим образовавшийся пар через испаряемую жидкость снова, то скорость испарения возрастет еще более. По этой простой причине паровая дистилляция стала широко применяемой промышленной технологией.

Итак, предположим что Вы приступили к извлечению летучих веществ из смеси жидкостей. Что же происходит с парами на пути к сборнику? Простейший способ собрать пар – это отправить его по трубе в конденсор и собрать образовавшуюся жидкость. Но какое-то количество паров неминуемо сконденсируется на стенках трубы, и чем она длиннее, чем больше площадь поверхности, тем больше летучих веществ там будет сконденсировано.

Таким образом, по стенкам трубы будет течь жидкость, содержание летучих веществ в которой будет выше, чем в горячем паре, обдувающим ее поверхность. Поэтому часть этой жидкости испарится, чтобы сделать пар богаче летучими веществами. Истощенная флегма будет постоянно накапливаться на стенках и течь вниз, к перегонному кубу.

В конденсаторе же будет находиться смесь кубового пара и пара обогащенного. Поэтому Вы получите конденсат с большим содержанием летучих веществ, чем можно было ожидать. Рассказанное было известно еще много столетий назад. Практический опыт дистилляторов привел к созданию перегонных кубов с крышками сложной формы, так называемых «Алембиков». Алембики имеют развитую поверхность и по сей день используются для получения дистиллятов достаточно высокой крепости.

Никаких тарелок, никакой насадки, никаких тщательно продуманных систем возврата и разделения флегмы! Из браги крепостью 7% об, шотландские дистилляторы получают виски крепостью около 70% об за 2 перегонки. В результате первого погона получается спирт-сырец (low wines) крепостью около 25% об. Сырец делают при помощи так называемого wash still – перегонного куба для браги. Вторую перегонку делают при помощи spirit still – вискогона. Оба алембика конструктивно совершенно одинаковы, отличаются они только предназначением.

Поймите, что древние кустики были не столь ограничены, как предполагают современные дистилляторы. Если взять в расчет, насколько совершенно оборудованы наши мастерские, становится понятно, что старые мастера были на голову выше нас в плане владения ремеслом и настойчивости в достижении цели.

Конечно, теперь мы знаем, что наполнив трубу, по которой пар идет к конденсатору насадкой, позволяет так же успешно укрепить пары. Для того, чтобы сделать такую конструкцию даже не надо проявлять особой изобретательности – насыпав насадки в трубу мы гарантированно получаем большую площадь поверхности при малом объеме. Конечный результат почти тот же, разве что труднее правильно отсечь хвосты и головы. Да конечный результат тот же, но я сожалею, что он не выглядит так же величественно, как башня алембика с ее затейливо изогнутыми формами.

Теперь нам важно понять, что жидкость, удерживаемая стенками и насадкой, *не кипит*, в процессе образования обогащенного пара – она испаряется!

Должен заметить, что я отказывался принять это как истину в течение многих лет, но в конечном счете мне пришлось сменить свою точку зрения.

Доскональное изучение баланса между скоростью, с которой тепло передается от пара к жидкости, повышая температуру последней, и скоростью, с которой тепло теряется при образовании нового пара, показывает, что в то время, когда жидкость нагревается проходящим вверх паром, ее температура стремится к точке кипения, но никогда ее не достигает. И такие условия сохраняются по всей высоте колонны – от конденсора до куба.

Поэтому мы вполне можем назвать «дистилляционную колонну» «испарительной колонной», а любителя дистилляции – любителем испарения!

Сказанное выше помогает понять, что же происходит, когда мы заставляем жидкую флегму стечь в верхнюю часть насадки. Сомнений в том, что этот позволяет достичь высоких степеней крепости и чистоты продукта нет, но почему так происходит?

Ответ состоит в том, что мы меняем состав жидкости на всех поверхностях, удерживающих ее в колонне. По мере того, как отработанная флегма

## 5 The Compleat Distiller или Наш Человек у Аппарата

опускается вниз, крепость жидкости возрастает по мере приближения к верху колонны.

Это означает, что пар, испаряемый из укрепленной жидкости также должен быть все богаче и богаче... Но тут есть небольшая неувязочка! Жидкость, которую мы направляем в верхнюю часть колонны с поверхности холодного дефлегматора, сначала необходимо прогреть. И только потом ее можно будет испарить с той же скоростью, что и заменяемую отработанную флегму.

Впрочем, упомянутая выше неувязочка не сильно меняет дело, так как скрытая теплота испарения воды и этанола намного превышает их теплоемкость. Поэтому холодная флегма прогревается парами практически мгновенно, и только очень небольшая высота колонны в самом верху работает с пониженной эффективностью. При рассмотрении баланса это выглядит как небольшой скачок вперед.

Что еще может быть сделано для того, чтобы жизнь стала лучше? И я вспомнил, что у меня всегда были проблемы с поддержанием точного флегмового соотношения при помощи прецизионного игольчатого крана. Малейший поворот маховичка очень сильно изменяет флегмовое число... Это почти равносильно резкому рывку рулем при вождении автомобиля. Причем такого, в котором руль можно резко переложить справа налево всего лишь движением пальца.

Поэтому мне в голову пришла очевидная мысль попробовать сделать всю систему более дружелюбной к пользователю, контролируя распределение значительно большего по объему пара, достигающего вершины колонны. Это представлялось явно более простым делом, чем распределять относительно малое количество конденсата, стекающего с дефлегматора.

Это привело к появлению на свет идеи «vapor management» - парового обора. Пару просто предлагаются два пути из оголовка колонны, один из которых перекрывается большим шиберным вентилем.

Мои первые эксперименты провалились, так как первый прототип был сделан по схеме, показанной на рисунке В-1.

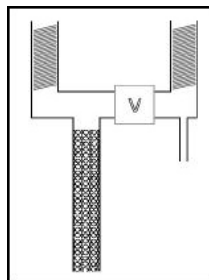


Рисунок В-1

Все, что я получил из правой трубы для отбора продукта – это струю пара, обогащенного этанолом! И только тогда я понял, что проблема в том, что этот пар был намного плотнее окружающего холодного воздуха.

Глупая ошибка! К тому времени я уже прекрасно знал, что пар, богатый этанолом, выходя из негерметичного перегонного куба, ложится на пол, где и ждет малейшей искорки, способной воспламенить его. Так что получилось, что я просто создал для этанола легкий путь выхода из колонны.

Так я создал второй прототип, конструкция которого предлагала пару, который я хотел собрать только движение вниз, в конденсор, что делало его путь к бутылке безопасным. После того, как я это сделал, верхний дефлегматор был возвращен в характерное для него положение вверху колонны. В переходник была помещена насадка, чтобы пар, входящий в дефлегматор, менял характер движения на турбулентный. Таким образом, пар начал разделяться в соотношении, определяемом площадью альтернативных путей. И мне казалось, что это работает хорошо... Пока меня не удивила скорость сбора продукта в конце перегонки и мелкие брызги из холодильника продукта.

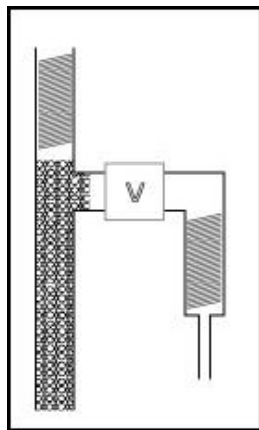


Рисунок В-2

Теперь-то это кажется очевидным... В общем, вопрос снова был в плотности пара. Водяной пар легче холодного воздуха, поэтому он и затруднял сбор конденсата, вежливо не пуская пар в холодильник продукта. Так, по чистой случайности, я наткнулся на практически автоматическую остановку отбора перед тем, как туда подойдут хвосты.

Это был хороший урок о применимости допущений... И теперь я очень внимательно смотрю на цифры после десятичной точки и более аккуратно округляю их в большую или меньшую сторону. Неправильные решения приводят к авариям и разочарованиям.

Теперь перепроверим мое поспешное и бодрое заявление в книге «The Compleat Distiller» о том, что испаряя любую смесь воды и этанола крепостью до 20 % об, мы получаем каждую секунду 45 литров пара. Вопрос, который я за-

## 7 The Compleat Distiller или Наш Человек у Apparata

дал себе, был таков: «А что если в паре присутствуют и другие летучие вещества?»».

Обсуждение этого вопроса вызвало настолько бурную дискуссию, что затронутый вопрос следует обсудить подробно. Приношу извинения тем, кто ненавидит математику, но это единственный путь прояснить ситуацию.

Во-первых, установленным фактом является то, что один моль любого летучего вещества при испарении занимает один и тот же объем. При 90° C это порядка 30 литров. Величина эта меняется при различных давлениях.

Во-вторых, следует брать в расчет скрытые теплоты испарения веществ, наиболее часто обнаруживаемых в отбродившей бражке. Ниже они перечислены в порядке убывания степени летучести.

И наконец, 1 киловатт мощности нагревателя – это 60 кJ энергии каждую минуту по определению.

К предыдущей таблице мы теперь можем добавить еще одну колонку, определив, сколько литров паров каждое из чистых веществ породит при приложении мощности в 1 киловатт. Если единицы выражены в литрах, минутах, килоджоулях и киловаттах, то в каждой строчке ответ мы будем определять по формуле  $30 \times 60 / LHV$ .

Чтобы осознать, какие результаты мы получили, к таблице следует добавить еще одну колонку. Большинство из нас интересуется скоростью образования пара для того, чтобы определить, как быстро он поднимется по колонне. Для расчетов я выбрал малую колонну наиболее распространенного у любителей диаметра 50 мм (2 дюйма). Также я добавил в таблицу скорость пара, выраженную в дюймах в секунду, так как это тоже интересная для многих величина.

Таблица В-1

Вещество	Скрытая теплота испарения, kJ/mol
Метиловый спирт	35,30
Этилацетат	37,62
Этиловый спирт	39,33
Пропиловый спирт	40,30
Вода	40,64
Бутиловый спирт	43,90

Картина начинает проясняться. Наиболее резвые приходят к вершине первыми. Это заставляет вспомнить о толпе, толкающейся в воротах на стадион – самые нахальные пролезают первыми. Разделение происходит очень быстро.

Давайте разберемся, что же происходит, когда все вещества присутствуют в различных количествах. Чтобы не запутаться, для начала предположим, что количество молекул каждого из них одинаково.

Тогда получится, что на каждое из 6 веществ придется по 1/6 части моля, что даст нам в итоге один симпатиченький моль. Каждое из веществ займет 1/6 часть всей площади поверхности и получит одинаковый шанс быть испаренным.

Таблица В-2

Вещество	Скрытая теплота kJ/mol	Литров пара/минуту/кВт	Скорость см/с/кВт
Метанол	35,30	51,0	41,9
Этилацетат	37,62	47,9	39,4
Этанол	39,33	45,8	37,6
Пропанол	40,30	44,7	36,8
Вода	40,64	44,3	36,3

Тогда общее количество пара, образующегося каждую минуту при приложении мощности 1 киловатт будет равно:

$$(51.0 + 47.9 + 45.8 + 44.7 + 44.3 + 41.0) / 6 = \mathbf{45.78} \text{ литра.}$$

Однако, если Вы сделали хорошую брагу, там будут только следы этилацетата, метилового, пропилового и бутилового спиртов. Основными игроками будут вода и этиловый спирт.

Для большей ясности, рассчитаем парообразование в предположении, что в браге только по 0,1 моля этилацетата, метилового, пропилового, бутило-



## 9 The Compleat Distiller или Наш Человек у Apparata

---

вого спиртов, а воды и этанола по 0,3 моля. В сумме 1 моль. Несложно подсчитать, что у нас в сумме образуется 45,49 литра пара в минуту.

Теперь, так как брага получилась хорошая, уменьшим содержание метилового, пропилового, бутилового спиртов до 0,01 моля. Тогда объем образовавшихся за минуту паров слегка упадет и составит **45,35** литра.

Пойдем дальше. Представим, что в браге равные количества воды и этанола, вредные примеси типа этилацетата и нежелательных спиртов отсутствуют вовсе. Тогда объем образующихся паров упадет до **45,01** литра.

Но! Это всего лишь частный случай, когда в растворе содержится равное количество молекул воды и этилового спирта.

- **По мере, того, как содержание этилового спирта в растворе опускается со 100% до нуля, объем паров, образуемых киловаттным нагревателем, падает от 45,8 литра до 44,3 литра в минуту.**

Я писал так подробно, поскольку хотел просто показать, как чрезмерная привередливость к исходным предпосылкам может затуманить суть вопроса. Одно из основных правил проведения расчетов гласит, что не стоит делать необоснованных округлений в процессе расчета, так как это может негативно повлиять на окончательный результат. Но некоторое округление окончательного результата вполне способно облегчить весь ход дальнейших рассуждений. И вы вполне можете быть уверены, что не совершите серьезных ошибок в дальнейшем.

В нашем случае, скорость паров к колонне диаметром 2 дюйма будет колебаться от 14,83 до 14,34 дюймов в секунду (от 37,66 см/с до 36,42 см/с)... Это выглядит как будто я пользуюсь микроскопом. Если эти цифры перевести в километры в час, то разница станет совсем невидимой – от 1,356 км/час до 1,311 км/час. Незначительное изменение скорости, не правда ли?

### **Подводим итоги.**

Я могу предположить, что Вы также как и я, сделали вывод о том, что значение 45 литров/минуту на 1 киловатт мощности – это цифра пригодная в практических расчетах, и что большое ее преимущество – возможность делать расчет быстро.

---

Итак, мы рассмотрели парочку основополагающих вопросов, которые лежат в основе возможной дискуссии по предлагаемой мною конструкции.

При некоторой удаче, кто-нибудь, возможно, даст идее новый импульс развития.

### L-1

### **Флегма.**

Ранее я уже говорил, что технология, предполагающая возвращение части конденсата, стекающего с дефлегматора в верхнюю часть колонны – это существенный шаг вперед.

Но Вы, наверное, уже поняли, что я становлюсь несколько циничен, когда речь идет об «общепринятых верованиях». А потому мне хотелось бы разобраться, что же происходит, когда флегма подается в нижнюю часть колонны, может это предпочтительнее?

Казалось бы, ответ очевиден: флегма просто стечет обратно в куб. Но что будет, если она до куба не дойдет, испарившись по дороге? Может получиться, что он соединится с паром, образованном в бойлере, и они стечут в нижнюю часть колонны и куб уже совместно.

Что мы с этого получим? Во-первых, жидкость будет отведена от верха колонны. После траверсирования (изменения параметров течения жидкостей и газов в трубопроводе), до конденсора дойдут только наиболее укрепленные пары (спорно?), мы получим продукт максимально возможной крепости. Кипячение жидкости приведет к образованию пара с еще большим содержанием летучих веществ. Таким образом, смешав эти пары с парами, пришедшими из куба, мы увеличим содержание летучих веществ в нижней части колонны. Это снова сместит равновесие колонны. После того, как в колонне оно установится вновь, в верхней части пар увеличит крепость. Сконденсировав и испарив эту жидкость, мы получим пар еще большей крепости в нижней части колонны, что приведет к еще большему увеличению крепости вверх. И так далее, круг за кругом...

Это явление хорошо изучено и называется положительной обратной связью. При проектировании усилителей электрических сигналов его избегают как чумы, так как усилители «идут вразнос», и, в конечном итоге, выходят из строя. Однако, усилители не имеют встроенного ограничения коэффициента усиления, а потому, когда Вы хотите стабилизировать их работу, приходится

вводить отрицательную обратную связь, таким образом ограничивая коэффициент усиления на нужном уровне.

Но в отличие от электронного усилителя, колонна имеет встроенный лимит, до которого может дойти укрепление... Что бы мы ни перегоняли, концентрация этого чего-то не может превысить 100%. Если же мы имеем дело со смесью веществ, то лимит крепости будет определяться явлением азеотропизма. После отбора голов крепость дистиллята достигает 95-96% об<sup>1</sup>.

По этой причине положительная обратная связь может быть успешно использована, так как степень укрепления колонны ограничена законами природы. Здесь нет никакой разницы с поведением болельщиков вашей любимой футбольной команды. Одобрительный рев на трибунах – это и есть обратная связь, но это никак не сможет заставить команду сделать больше своих возможностей – это и есть встроенное ограничение, о котором мы говорили.

Так каковы же последствия от того, что мы подведем флегму к низу колонны вместо того, чтобы подать ее в верхнюю часть? Жидкая флегма колонны получает «поддержку», но вот количество флегмы в колонне последовательно снижается по мере приближения к низу колонны.

В случае использования «идеальной колонны», крепость последовательно понижается ко входу в колонну и в результате становится равна крепости поступающего в колонну пара. Если же колонна не столь совершенна, вполне может случиться, что мы сливаем в куб флегму еще достаточно высокой крепости. В кубе слитая флегма будет дополнительно разбавлена и вновь испарится, образовав пар более низкой крепости.

В нашем же случае, пар, входящий в низ колонны с «паровой флегмой», произведет пар более высокой крепости, чем тот, что образуется в кубе. Увеличившаяся крепость не даст упасть крепости того, что выше по колонне расположено... Это, в свою очередь, поддержит крепость флегмы и так далее, и так далее по кругу. Как следствие, градиент крепости в колонне с которым мы имеем дело, станет меньше, колонна будет регулироваться легче колонны с возвратом жидкой флегмы наверх.

---

1 *Лучшие образцы любительских колонн позволяют достигать второго азеотропа - ака Игорь из Одессы легко получает на своем оборудовании 97,17 abv.*

---

Все это звучит весьма неплохо, пока мы не начинаем сравнивать крепость и скорость образования кубового пара и пара из куба для кипячения флегмы. Становится совершенно ясно, что все, что происходит – это подъем летучих веществ из основного куба в куб для флегмы. Если оба куба будут нагреваться одинаково (например, одинаковыми ТЭНами), то придет время, крепость пара, поступающего в колонну, будет увеличиваться с той же скоростью, с которой мы уменьшаем ее. Действия наши в этом случае очевидны – мы уменьшаем нагрев основного куба по мере окончания перегонки.

Как и прежде, Вы продолжите «выдаивать» летучие компоненты из основного куба, но скорость отбора продукта той же крепости станет меньше. Процесс будет продолжаться, пока и из емкости для флегмы также не будут извлечены летучие вещества.

Все это начинает выглядеть как целая куча разочарований... пока мы не начинаем сравнивать производительность данной конструкции, и скорость сбора продуктов дистилляции в случаях жидкостного и парового отбора.

Типичное флегмовое соотношение для технологии разделения жидкой флегмы равно 90%. Это значит, что собирается только 10 процентов того, что образуется в оголовке колонны. Для модифицированного парового отбора, в ходе которого используется та же суммарная мощность для основного куба и емкости с флегмой, что в предыдущем случае, это отношение может быть снижено до 50%. Мы получаем пятикратное увеличение скорости сбора дистиллята. Разумеется, флегмовое число должно быть снижено к концу перегонки, но простейший расчет все же показывает, что скорость отбора конденсата может быть сохранена на протяжении большей части процесса перегонки. В результате скорость отбора продукта все равно оказывается примерно вдвое выше, пока не наступит момент, когда «выдавливает спирт из кошки» становится бессмысленно<sup>2</sup>.

Получается, что двойной выигрыш в скорости вполне стоит небольших затруднений. Теперь я стал тяжел на подъем, и не провожу много времени в мастерской. Поэтому если кто-либо из любителей дистилляции решит воплотить данный проект в металл, это будет действительно интересно, рекомендую, пробуйте!

---

2 *Использован эквивалент английского "жать воду из камня" - "кисонька, ну еще хоть капельку" -кто жил при Советской Власти, этот анекдот прекрасно помнят.*

### 13 The Compleat Distiller или Наш Человек у Apparata

Все что я прошу, так это дать мне знать, как продвигается дело. Со своей стороны готов помочь советом и ответить на любые ваши вопросы.

Первоначально мои мысли приобрели форму, представленную на рисунке ниже.

На рисунке видно, что это просто колонна с разделением флегмы, разве что к стандартной конструкции по совету Riku со Скандинавского Форума была добавлена петля. Конструкция устроена таким образом, что мы сначала отбираем головы, затем охлаждаем продукт. В соответствии с выбранным флегмовым соотношением, остатки конденсата стекают на дно куба для флегмы.

Совершенно очевидно, что система с прямым разделением пара будет работать, как минимум, так же хорошо, если даже не лучше.

На рисунке изображено, что вторичный бойлер нагревается электрической плиткой. В силу необходимости изменять мощность, приложенную к кубам, Вам придется выбрать для работы что-нибудь получше, чем набор из пары термостатов, так как термостаты, по причине грубости настроек, вызывают резкое кипение. К счастью, на рынке доступны электронные регуляторы мощности нагрева, позволяющие реализовать различные режимы работы, к примеру фирмы Sutronics.

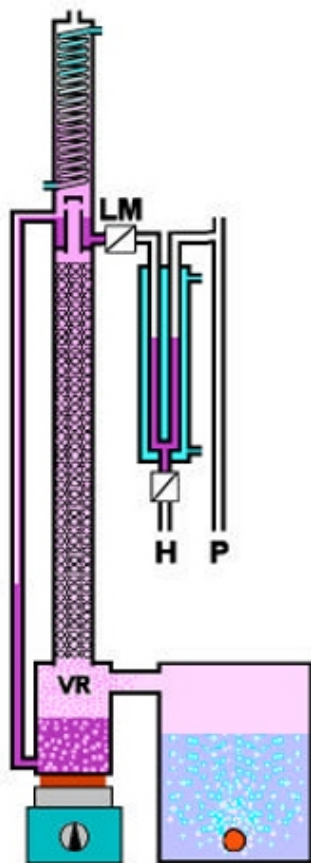


Рисунок В-3

В процессе ректификации возникает не только необходимость регулировать мощность, но и удерживать ее на постоянном уровне. Регулировать

---

флегмовое соотношение и поддерживать его на постоянном уровне простым поворотом ручки регулятора можно при помощи разработанного мною контроллера, описанного в первом издании книги *The Compleate Distiller*. Он позволяет управлять потоком мощности в 2 киловатта, чего для большинства пользователей вполне достаточно.

Маленький совет: вполне можно использовать *силиконовые* трубки, чтобы жидкость сливалась во вторичный бойлер по ним. Тогда Вам будет прекрасно видно, сливается ли жидкость в куб для флегмы, или он остается сухим. Переполнение вторичного бойлера не может стать проблемой, так как жидкость просто сольется в первичный бак.

Разумеется, когда Вы приступаете к работе, куб для флегмы пуст, поэтому пар из основного бойлера достигнет верха колонны двумя путями. Это значит, что пар начнет немедленно после конденсации заполнять вторичный бойлер, вызывая образование паровой пробки, после чего в нижнюю часть колонны будет поступать паровая смесь. Даже если в процессе ректификации куб для флегмы выкипит полностью, он автоматически начнет заполняться вновь. Паровая пробка образуется вновь.

Если колонна смонтирована на вторичном бойлере, то жидкость, стекающая с нижней части колонны, как минимум, столь же богата летучими веществами, как и пар, входящий в колонну. Следовательно, перед переиспарениями пар не будет истощен, как это происходит с колоннами, располагающимися на основном кубе.

Ранее мы показали, что в итоге Вы получаете систему, работающую значительно быстрее обыкновенной ректификационной колонны.

Но всегда, всегда помните слова Мюррэя Лейнстера о теориях, вынесенные в эпиграф статьи!

Любитель испарения Майк Никсон,

Аукланд, Новая Зеландия

1 октября 2010 года

## **L-2 Что происходит внутри колонны. Действительно ли флегма кипит?**

Я добавил к статье разъяснения по вопросу о кипении флегмы, так как решил сделать еще одну попытку прояснить его. Чтобы понять до конца сказанное выше, необходимо понимать, почему жидкость, удерживаемая на стенках колонны и насадке, не кипит, встречаясь с более богатой смесью веществ – она испаряется!

При обсуждении метода возврата пара как флегмы в низ колонны это не очень важно, кипит ли флегма в колонне или же испаряется. Но возможно, что некоторые сочтут мои разъяснения интересными для себя.

Итак, количество тепла, которое его источник может передать жидкости, определяется двумя факторами: разницей температур и теплопроводностью. К примеру, Вы можете обеспечить высокую скорость теплопередачи, если используете источник тепла с высокой теплопроводностью. Это может быть кастрюля на конфорке или погружной нагреватель в жидкости. Напротив, если Вы положите на конфорку кирпич и начнете его нагревать, поток тепла быстро уменьшится, так тепло не может проходить через кирпич быстро.

Точно так же, как и кирпич, пары также обладают малой теплопроводностью, а поэтому часто используются как теплоизоляторы. (Пар в старых паровозных котлах работал так же эффективно, как и два слоя теплоизоляции.)

Когда пар меняет фазовое состояние и становится жидкостью, процесс теплопередачи значительно интенсифицируется. Обратное утверждение столь же верно. И это один из базовых принципов дистилляции.

Ну, разумеется, найдутся те, кто станет мне возражать. Они скажут, что основной принцип дистилляции – это обогащение паров, образуемых жидкостью при нагреве. И я могу согласиться с ними – но только при условии, что, что они будут говорить так же, как и я: «один из базовых принципов». Это типичный случай выяснения, что же раньше появилось на свете, курица или яйцо...

Я мог еще возразить, что укрепление паров является следствием неожиданного выделения энергии поглощенной жидкостью при испарении, но просто шепну заблуждающимся сквозь крики несогласия, что оба базовых принципа одинаково важны. И еще тише добавлю, что укрепление при конденсации паров происходит далеко не всегда.

В общем, не стоит спорить, сколько же ангелов уместиться на кончике иглы, но я полагаю, что перед рассмотрением вопроса о том, кипит ли флегма, или же она просто испаряется, все же стоило напомнить два основополагающих принципа дистилляции.

При помощи дифференциальных уравнений мы получим ответ быстро, не успев заполнить формулами и несколько строк. Но я хочу попробовать так расставить слова по странице, чтобы всякий, кто способен внимать голосу рассудка, поймет меня хорошо. И неважно, согласится ли он при этом с моими доводами.

Рассмотрим подробнее происходящее в колонне. Если отставить в сторону насадку (ее задача – создать большую по площади поверхность, удерживающую жидкость), окажется, что весь объем колонны заполнен паром и жидкостью, сконденсировавшейся из пара.

Таким образом, не имеет значения, где эта жидкость образовалась, то ли непосредственно в насадке, то ли в дефлегматоре и была направлена обратно в насадку. Нам необходимо только выяснить, кипит ли флегма.

Потерями тепла можно спокойно пренебречь, так как для системы в целом они примерно постоянны. И последствия тепловых потерь выражаются просто в добавлении некоторого количества жидкости в насадку к той, что конденсируется в дефлегматоре.

Обычно мы представляем флегму в виде капель, стекающих по колонне, но это не так. Насадка представляет собой практически непрерывную поверхность, флегма смачивает ее и течет вниз, представляя собой также поверхность, только чуть большей площади. Где-то могут появляться и отдельные капли, но по большей части жидкость представляет собой неразрывную пленку. При этом для пара взаимодействия пара с поверхностным слоем флегмы остается достаточно много места. (Это немного напоминает активированный уголь – тоже большая поверхность при малом объеме).

Тепловая энергия легко переходит от пара к жидкости. Скорость такого энергообмена изменяется по высоте колонны, так как зависит от разницы температур и химического состава взаимодействующих сред, различных в разных точках колонны.



Совершенно очевидно, что скорость пара вверх по колонне постоянна. Возможно, что не столь же очевиден факт, что скорость жидкости в верхней части колонны выше чем в нижней. Причина состоит в том, что в любой заданный момент времени вверху колонны конденсируется больше жидкости, чем доходит до нижней части и возвращается в куб. Скорость массопереноса между паром и жидкостью в любой точке колонны пропорциональна энергообмену, который постоянен по высоте колонны.

Объем конденсата с высоким содержанием алкоголя, образующийся в верхней части колонны, примерно в три раза больше, чем количество жидкой флегмы в нижней части колонны. Именно поэтому жидкость течет вниз в верхней части колонны со значительно большей скоростью, чем в верхней.

Но, несмотря ни на что, количество флегмы, удерживаемой насадкой, остается неизменным в любой точке колонны. Как следствие, жидкость с низким содержанием алкоголя дольше подвергается действию пара.

Голова кругом идет? Ничего, я тоже это пережил! Скоро мы придем к итогу наших рассуждений.

Сосредоточимся на очень маленькой поверхности жидкости в любой точке колонны. В данный момент нам неважно, где расположена эта исчезающее малая поверхность и каков состав жидкости. Пленка жидкости течет вниз, от верха колонны, где температура ниже. Следовательно, ее температура ниже, чем температура паров, поднимающихся вверх. За счет теплопроводности флегма начинает прогреваться. Как только она становится горячее, скорость испарения с нее возрастает. В конечном итоге, флегма теряет это тепло, так как его уносят пары. Отметим, что пары отбирают тепло быстрее, чем теплопередача возмещает его... просто сравните удельную теплоемкость с теплотой парообразования.

Конечный итог описанного цикла, разумеется, не в том, что флегма охладится и совсем замерзнет. Это, конечно же, не так. Как повседневный опыт, так и подробное изучение теплообменных процессов, показывают, что температура жидкости медленно поднимается и имеет в пределе температуру кипения.

Но предела – температуры кипения – жидкость в пределах элементарной площадки никогда не достигнет... Это происходит потому, что выделенная нами часть поверхности флегмы не стоит на месте, пассивно ожидая своей

участи – она двигается, будучи частью общего потока жидкости, стекающей в куб.

- **Флегма снова начинает кипеть, только попав в куб.**

Если у Вас хватило терпения дочитать до этого места, то Вы поняли, почему математики и инженеры предпочитают использовать математику при описании такого рода проблем. Понимание приходит намного легче, когда вопрос изложен с цифрами и всего в несколько строк.

Если Вы еще мне не верите, проверьте сказанное самостоятельно. Возьмите металлическую миску с водой и опустите ее плавать в большой котел с кипящей водой. Но не надейтесь, подобно Бэйн Мари, что вода закипит.

Этого не произойдет, даже если Вы сделаете ситуацию еще больше похожей на ту, что есть в колонне, накрыв миску крышкой.

После того, как мы поставили крышку, получилось, что поверхность воды оказалось практически погружена в парожидкостную смесь. Для того, чтобы смотреть на то, что произойдет, стоит взять стеклянную крышку или заменить стекло пленкой, но сделайте в пленке несколько отверстий для выхода паров.

Затем заметьте время, когда был начат эксперимент и ждите, когда же вода в миске закипит. Но, как я уже говорил ранее, сколько бы Вы не ждали, все, чего Вы дождетесь, это несколько пузырьков. Слой воды, соприкасающийся с дном, достигнет температуры кипения, вся жидкость – никогда.

Постарайтесь получить удовольствие от эксперимента!

Майк.