Поверхностная выпарка

(выпарка-сушка).

В практике паточного производства встречается особый вид выпарки—выпарка Uhland'a. Она состоит из ряда горизонтальных паровых трубок расположенных одна над другой. Выпариваемая жидкость льется из лотка через ряд тонких отверстий в дне его на верхнюю из паровых трубок; омывши ее поверхность она особыми наклонными плоскостями направляется на следующую низшую трубку и т. д. до самой нижней, откуда стекает в сборный ящик. Чтобы пар не попадал в то помещение, где поставлен аппарат, он закрыт съемным деревянным кожухом. Для отвода пара полость кожуха соединена с вытяжной трубой.

Преимущество такой выпарки—чрезвычайно малый объем жидкости, который она заключает (ею лишь смочены трубки), и, вследствие этого, быстрая смена и очень малая продолжительность выпаривания жидкости—всего несколько секунд. Таким образом, жидкость не страдает от продолжительного нагрева, что для паточного производства, например, весьма важно. К этому присоединяется большая производительность такой выпарки (на единицу поверхности) и легкость очистки трубок от накипи (нужно лишь снять боковые стенки кожуха, чтобы открыть трубки). Однако в работе выпарки Uhland'a обнаружился большой недостаток, который заставил убрать ее с заводов, вырабатывающих высшие сорта патоки (напр., с самого крупного русского паточного завода—„Волжского“ близ пристани „Понизовкино“). Оказалось, что трубки не совсем равномерно омываются жидкостью и там, где приток ее мал,—жидкость выпаривается слишком сильно, перегревается и разлагается под действием высокой температуры пара. (Пар применяется—из парового котла с давлением 4-5 атм.). Патока оказывается окрашенной продуктами карамелизации глюкозы и изменившей свой вкус.

Однако представляется, что выпаркой Uhland'a можно пользоваться несколько иначе, при чем должны исчезнуть отрицательные стороны ее работы и, наоборот, появятся новые—положительные. Для этого нужно произвести некоторое изменение в работе, а именно: внутрь трубок выпарки, вместо пара из парового котла с давлением в 5 атм. (150°), следует пустить отработавший пар из паровой машины в 100° С; кроме того, нужно усилить обмен воздуха в кожухе (поставить вентилятор). Характер выпаривания тогда значительно изменится. Жидкость не будет кипеть, так как греющий пар лишь имеет температуру кипения. Она будет „испаряться“ с поверхности подобно тому, как испаряется вода в открытом сосуде: отчасти вследствие диффузии водяного пара в воздух, отчасти вследствие конвекции. Итак, это будет „поверхностная“ выпарка. Температура выпариваемой жидкости будет ниже 100° и эту температуру можно регулировать большим или меньшим пуском вентиляционного воздуха.

Интересно состояние отводимого с выпарки воздуха. Если над жидкостью, температуру которой поддерживают, напр., при 80° С, в тес-

ном соприкосновении с ней находится воздух, то он насыщается парами воды, т.-е. в нем при 80° окажется на каждый куб. метр (смеси воздуха и пара) 0,293 кгр. водяного пара парциальное давление которого будет 0,467 атм. (см. таблицы Mollier'a). Парциальное давление воздуха $-1 - 0,467 = 0,533$ атм. Следовательно, каждые 0,533 куб. метра воздуха унесут с собой 0,293 кгр. воды, если этот воздух будем удалять; или же на 1 кгр. воды потребуется 1,82 куб. м. воздуха с темп. 80° (или $\frac{1,82 \cdot 273}{353} = 1,40$ куб. м. воздуха с темп. в 0° С.).

Что касается распределения температур в аппарате, то о нем можно сказать следующее. Температура греющего пара, конечно, постоянна и $= 100^{\circ}$. Температура воздуха при переходе его из нижней части аппарата в верхнюю постепенно повышается. Температура стекающей сверху вниз жидкости постепенно падает, так как она в нижней части аппарата встречает холодный воздух и, самое главное, потому, что, особенно в средней части аппарата, происходит усиленное испарение, понижающее температуру жидкости, так как воздух здесь еще не насыщен парами воды. В верхней части аппарата содержание водяных паров в воздухе приближается к количеству, насыщающему его; температура воздуха здесь близка (но ниже) к температуре жидкости.

Если в верхней части аппарата температура жидкости будет, напр., 80° и разность температур греющего пара и жидкости, следовательно, $100 - 80 = 20^{\circ}$, — то средняя разность тех же температур по всему аппарату будет больше, так как в средней и нижней части его температура жидкости вследствие усиленного испарения будет ниже чем в верхней, напр., до 60° .

Поверхностная выпарка позволяет по желанию форсировать выпаривание, для чего достаточно лишь пустить в нее больше воздуха. Следствием будет усиленное испарение и понижение температур жидкости по всему аппарату. Выходящий из аппарата воздух будет иметь тоже низшую температуру и будет дальше от состояния насыщений. Разность между температурой греющего пара и жидкости увеличится, что увеличит соответственно и теплопередачу. Но выпарка, как увидим, при форсировании будет работать менее экономно. Расход пара на испарение того же количества воды будет больше.

О производительности поверхностной выпарки можно получить некоторое представление из частного примера. Если жидкость вверху выпарки будет иметь температуру 80° , а внизу, следов., — ниже, то среднюю температуру жидкости в выпарке можно считать ни в коем случае не выше 70° С. и разность температур греющего пара и жидкости — не меньше $100 - 70 = 30^{\circ}$ С. Коэффициент теплопередачи для такой выпарки по условиям ее работы — такой же, как для быстроточных решоферов сахарного завода, т.-е. $10 \frac{\text{Cal}}{\text{mtr}^2 \times \text{мин.} \times ^{\circ}\text{C}}$. Таким образом 1 кв. метр поверхности в 1 мин. при разности температур в 30° должен передавать $10 \cdot 30 = 300$ Cal., т.-е. кв. метр в час будет испарять около 30 кгр. воды. Для сравнения можно привести способность теплопередачи 1 кв. метра поверхности различных корпусов выпарки сахарного завода:

Корпус.	О.	I.	II.	III.	IV.
Cal. в 1 ^ч через mtr ²	990	200	180	120	126

Отсюда видно, что испарительная способность поверхностной выпарки не низка, она нормальна, особенно, если принять во внимание, что в ней используется дешевый мятый пар, имеющий низкую температуру.

Поверхностная выпарка отличается от обычных выпарок особенно тем, что в ней нет кипения. Это делает ее совершенно оригинальной и сближает с некоторыми другими аппаратами. Прежде всего она напоминает сушку (также градирню). Это—выпарка—сушка. Отличие от обычной сушки в том, что передача тепла происходит непосредственно высушиваемому материалу, воздух же лишь уносит пары воды. В обычной же сушке теплота передается воздуху; воздух является переносчиком теплоты, он же уносит и влагу. Затем выпарка-сушка выполняет в технически-совершенной форме то, что давно уже продельвается во всех аналитических и фармацевтических лабораториях,—это, так называемое „выпаривание на водяной бане“. И цель и выполнение здесь одни и те же. Выпаривание на водяной бане применяется, когда желают выпарить что-нибудь при низкой температуре. Водяная баня дает пар температуры 100° , в чашке же с выпариваемой жидкостью температура всегда гораздо ниже 100° . Кипения и здесь, конечно, нет. Влага уносится свободно циркулирующим над чашкой воздухом. Поэтому такое выпаривание можно производить лишь в совершенно открытой чашке.

Расход воздуха на 1 кгр. выпариваемой воды и коэффициент полезного действия поверхностной выпарки зависит от температуры, с какой уходит воздух и от степени насыщения его парами воды. Чем больше вводится воздуха, тем больше тратится теплоты непроизводительно—на нагревание этого воздуха до температуры выхода его из аппарата. Например, мы высчитали уже, что при 80° С. на каждый кгр. выпариваемой воды расходуется 1,40 куб. м. воздуха (0° С.). При теплоемкости воздуха (Ср) для 1 куб. м. = 0,300, найдем, что непроизводительно при получении каждого кгр. пара будет затрачиваться на нагревание воздуха $1,40 \cdot 0,300 \cdot 80 = 33,6$ Cal. (Считая начальную температуру воздуха = 0°). Производительно же—на парообразование (при 80° С.)—пошло $\lambda - 60 = 631,3 - 60 = 571,3$ Cal (табл. Mollier'a), если считать, что температура жидкости, поступающей для выпаривания— 60° С. Коэффициент полезного действия—
$$\frac{571,3}{571,3 + 33,6} = 0,944$$
 или $94,4\%$.

В следующей таблице коэффициенты полезного действия и расход воздуха вычислены для различных температур уходящего воздуха.

Темп. уходящ. возд. $^{\circ}$ С.	Парц. давл. паров воды р в атм.	Плот. пара ρ в кгр./мтр ³ .	Парц. давл. воздуха 1—р в атм.	Расх. возд. на 1 к. вы. пар. воды в мтр ³ (при 0°)	Тепло идущее на нагрев. возд. q в Cal.	Тепло идущее на испар. воды (при начальн. $t = 60^{\circ}$): $\lambda - 60$ в Cal.	Коэф. п. д. при полном насыщ. воз. $\frac{Q}{Q+q}$	Коэф. п. д. при 60% насыщ. воз.
90	0,691	0,424	0,309	0,55	14,8	575,6	97,5	95,9
80	0,467	0,293	0,533	1,40	33,6	571,3	94,4	90,9
70	0,307	0,198	0,693	2,78	58,4	567,0	90,7	85,4
60	0,158	0,130	0,842	5,31	95,6	562,6	85,5	77,9
50	0,121	0,083	0,879	8,90	134,0	558,0	80,6	71,4
40	0,072	0,051	0,928	15,85	190,4	553,5	74,4	63,6

Если воздух уходит не насыщенный парами воды, коэффициент пол. д. падает, так как расход воздуха повышается обратно пропорционально коэффициенту насыщения его. Напр., при насыщении в 60% предельного расход воздуха окажется при темп., напр., 70° не 2,78, а $\frac{2,78}{0,60} = 4,63$ куб. м. на 1 кгр. пара; расход тепла на нагрев этого воздуха соответственно увеличится и коэффициент пол. д. окажется не 90,7, а 85,4. Вычисленные таким образом коэффициенты пол. д. для насыщения воздуха в 60% помещены в последнем столбце таблицы. Из этих цифр видно, что лишь при чрезвычайно форсированной работе, почти невыполнимой на практике, когда на 1 кгр. выпариваемой воды вдувается $\frac{15,85}{0,60} = 26,4$ к.м. воздуха, испарение ведется при 40°C и воздух успевает взять лишь 60% насыщающего его количества влаги,—коэффициент пол. д. падает до 63,6%, вообще же он держится между 80—90%, т.е.—вполне удовлетворителен.

Преимущества поверхностной выпарки таковы.

1. Возможность быстрого выпаривания (в несколько секунд) при низкой температуре, т.е. условия более выгодны, чем при выпаривании на водяной бане.

2. Низкая температура греющего пара, что тоже предупреждает возможность местного перегрева жидкости.

3. Возможность утилизации обратного пара паровой машины, следовательно, дешевое выпаривание. Обычно, чтобы утилизировать обратный пар для целей выпаривания, требуется устраивать дорого стоящий вакуум аппарат с еще более дорогим воздушным насосом. Здесь же нужен лишь дешевый вентилятор.

4. Дешевизна устройства самой поверхности нагрева, так как давление пара ничтожно.

5. Поверхность нагрева легко доступна для очистки накипи.

6. Можно регулировать выпаривание и форсировать его, пуская больше или меньше воздуха на выпарку.

7. Можно даже в условиях кустарного завода устроить многокорпусную выпарку без вакуума и воздушного насоса, сделавши поверхностную выпарку последним корпусом.