

**СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО УНОСУ ЖИДКОСТИ
ДЛЯ КЛАПАННЫХ, КОЛПАЧКОВЫХ И СИТЧАТЫХ ТАРЕЛОК****И. Ф. МАЛЕЖИК**

Киевский технологический институт пищевой промышленности

Приведены результаты исследования уноса на клапанных, колпачковых и ситчатых тарелках. Выявлено, что у клапанных тарелок унос меньше, чем у колпачковых, и больше, чем у ситчатых. Среди клапанных тарелок наименьший унос наблюдался на тарелках с круглыми клапанами. Установлено, что расстояние между тарелками зависит от скорости воздуха и конструкции тарелки. Дано обобщение результатов проведенных опытов в виде эмпирических формул.

При оценке различных конструкций барботажных тарелок немаловажное значение имеет выяснение вопроса о брызгоуносе. Это объясняется тем, что унос жидкости газом (паром) определяет один из основных размеров колонны—расстояние между тарелками. Унос жидкости понижает к. п. д. тарелки, заставляет уменьшать скорость газа (пара) в колонне, а следовательно, и производительность колонны.

Несмотря на то, что вопрос о брызгоуносе привлекал внимание многих исследователей [1—7], сравнительных данных по уносу для многочисленных конструкций барботажных тарелок еще очень мало. Особый интерес представляет изучение явления брызгоуноса для появившихся в последние годы и еще почти не исследованных новых конструкций тарелок, в частности клапанных, и их сравнение в отношении уноса с применяющимися в нашей промышленности колпачковыми и ситчатыми тарелками.

В связи с этим нами были проведены опыты по определению уноса жидкости газовым (паровым) потоком для клапанных, колпачковых и ситчатых тарелок. При этом условия проведения опытов—расстояние между тарелками, высота сливной перегородки, живое сечение тарелки, газо-жидкостная система—для всех исследованных тарелок сохранялись одинаковыми.

Экспериментальная часть. Для исследования брызгоуноса нами была построена лабораторная установка, схема которой показана на рис. 1. Жидкость, идущая на орошение, поступала непосредственно на исследуемую тарелку. Над исследуемой тарелкой закреплялась клапанная тарелка с хорошо прилегающими круглыми клапанами, которые свободно пропускали воздух и задерживали жидкость. Эта тарелка не имела сливного стакана, а была снабжена резиновым шлангом для отвода жидкости, который на время проведения опыта перекрывался зажимом. Для полного освобождения верхней тарелки от жидкости сливные перегородки на ней отсутствовали.

Высота сливной перегородки на исследуемой тарелке составляла 40 мм; расстояние между тарелками было 200 и 300 мм; внутренний диаметр колонны 2, сделанной из оргстекла, 300 мм.

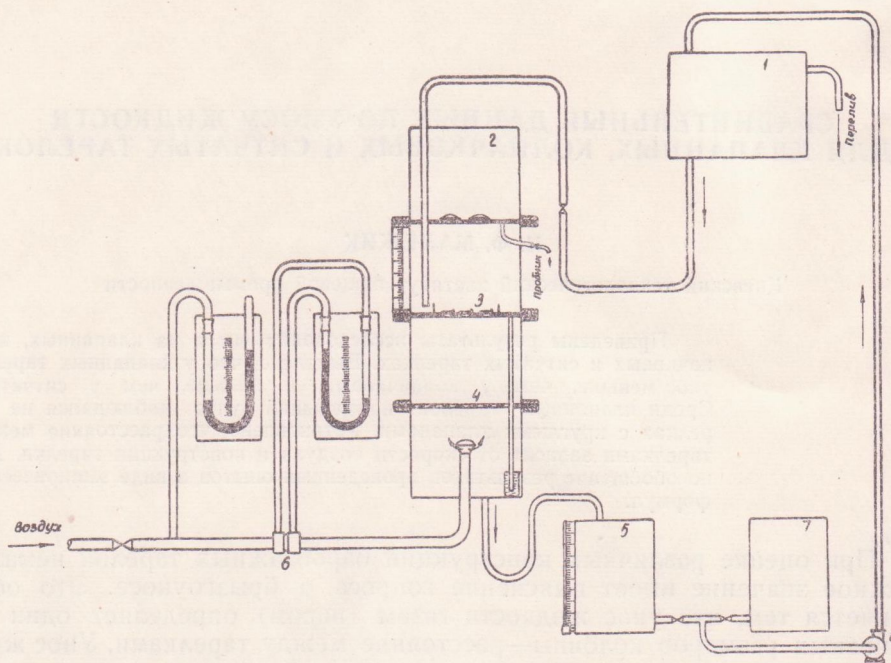


Рис. 1.

В качестве орошающей жидкости служила щелочь NaOH концентрацией 0,05 н. Раствор щелочи приготавливали в бачке 7, после чего центробежным насосом 8 подавали в напорный бачок 1, из которого жидкость поступала на орошение. Пройдя через исследуемую тарелку 3, жидкость поступала в мерный бачок 5, а из него центробежным насосом опять перекачивалась в напорный бачок 1.

На верхнюю тарелку наливали слой чистой воды. В качестве газа применяли воздух, который нагнетался ротационной воздуходувкой через распределительную решетку 4. Количество воздуха замеряли острой диафрагмой 6, время проведения опыта — секундомером. По окончании опыта воду с верхней тарелки сливали, замеряли ее количество, а затем титровали 0,01 н раствором соляной кислоты. Далее определяли количество жидкости, переброшенной с нижней тарелки на верхнюю. Верхняя тарелка благодаря клапанам удерживает любое количество жидкости. Этого нельзя было бы осуществить на колпачковой тарелке, так как последняя позволяла бы сохранять только уровень жидкости, не превышающий высоты парового патрубка. Скорость воздуха при проведении опытов менялась в пределах 0,6—1,4 м/сек. Плотность орошения составляла 11—15 м³/м²·час.

Кроме колпачковой и ситчатой тарелки, были исследованы три типа клапанных тарелок, конструкция и характеристика которых были опубликованы ранее [8]: тарелка с пластинчатыми L-образными клапанами; тарелка, оборудованная круглыми клапанами с трапециевидными зубьями и круглыми клапанами с треугольными зубьями.

При сооружении лабораторной установки мы постарались устранить

те недостатки, которыми страдал так называемый статический солевой метод, применявшийся многими исследователями для изучения уноса. Статический метод ставил тарелки в условия, отличные от рабочих, ибо отсутствовало течение жидкости по тарелке и в ходе одного опыта уровень жидкости на тарелке уменьшался, что сказывалось на результатах. В наших же опытах тарелки были поставлены в условия, близкие к рабочим, так как поступление и отвод орошающей жидкости происходили непрерывно.

Результаты опытов. На рис. 2 показана зависимость относительного уноса, а на рис. 3 — абсолютного уноса от скорости воздуха в свободном сечении колонны. Из приведенных графиков видно, что относительный унос при скорости воздуха до 1 м/сек для тарелок с пластинчатыми клапанами и ситчатых тарелок уменьшился, для остальных тарелок несколько увеличился. Абсолютный унос при скорости воздуха до 1 м/сек возрос незначительно, а для ситчатой тарелки и тарелки с пластинчатыми клапанами почти не изменился.

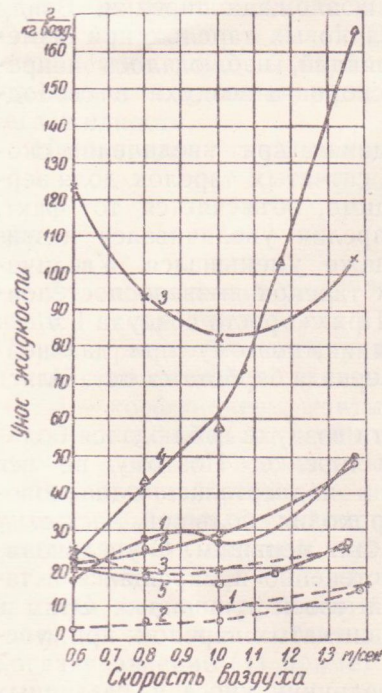


Рис. 2. Расстояние между тарелками 200 (—) и 300 (---) м.м. 1—тарелка с круглыми клапанами с треугольными зубьями; 2—тарелка с круглыми клапанами с трапециевидными зубьями; 3—тарелка с пластинчатыми клапанами; 4—колпачковая тарелка; 5—ситчатая тарелка.

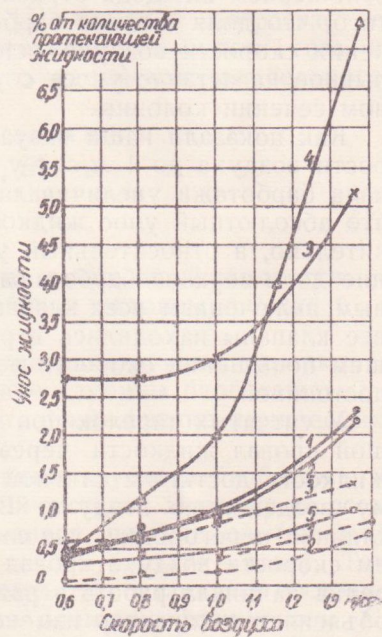


Рис. 3. Расстояние между тарелками 200 (—) и 300 (---) м.м. 1—тарелка с круглыми клапанами с треугольными зубьями; 2—тарелка с круглыми клапанами с трапециевидными зубьями; 3—тарелка с пластинчатыми клапанами; 4—колпачковая тарелка; 5—ситчатая тарелка.

При скорости воздуха больше 1 м/сек значительно нарастал как относительный, так и абсолютный унос. Особенно увеличивался унос у тарелок колпачковых и с пластинчатыми клапанами при расстоянии между тарелками 200 м.м. Значительное возрастание уноса при скорости воздуха больше 1 м/сек объясняется тем, что при этой скорос-

ти происходит переход от струйного режима барботажа к режиму инжектирования.

Проведенные исследования показали, что максимальный унос был у колпачковых тарелок, затем по величине уноса в сторону его уменьшения тарелки располагались так: клапанная с пластинчатыми клапанами (при скорости воздуха >1 м/сек), клапанная с круглыми клапанами с треугольными и трапециевидными зубьями и, наконец, ситчатая. Следует отметить, что форма зубьев на клапанах не влияет на величину уноса, так как тарелки с трапециевидными и треугольными зубьями имели почти одинаковый унос.

Значительный унос жидкости у колпачковых тарелок можно объяснить большой вертикальной скоростью воздуха при прохождении его через слой жидкости между цилиндрическими поверхностями колпачков, так как значительная часть площади тарелки занята колпачками. Ю. К. Молоканов и А. И. Скобло [4] объясняют это явление малой долей зеркала барботажа у колпачковых тарелок, т. е. малым отношением площади зеркала барботажа к площади тарелки. Ввиду того, что доля зеркала барботажа у колпачковых тарелок при изменении скорости воздуха оставалась постоянной, наблюдалось непрерывное нарастание уноса с увеличением скорости воздуха в свободном сечении колонны.

Как показали наши визуальные наблюдения, при увеличении скорости воздуха до 1 м/сек у клапанных и ситчатых тарелок доля зеркала барботажа увеличивалась. Этим, видимо, объясняется тот факт, что абсолютный унос жидкости у этих тарелок увеличивался незначительно, а относительный унос иногда даже уменьшался. Увеличение доли зеркала барботажа у клапанных тарелок вызвано постепенным включением всех клапанов в работу. При скорости воздуха 1 м/сек все клапаны находились в рабочем состоянии, поэтому при дальнейшем повышении скорости воздуха доля зеркала барботажа оставалась постоянной.

У ситчатых тарелок при малой скорости воздуха наблюдался большой провал жидкости через отверстия в тарелке. Поэтому не вся жидкость достигала сливной перегородки и подвергалась одинаковому воздействию воздуха. Воздух же проходил большей частью у сливной перегородки, где слой жидкости был меньшим. С увеличением скорости воздуха провал жидкости постепенно прекращался и тарелка начинала работать равномерно всей своей площадью. Этим и объясняется характер изменения уноса у ситчатых тарелок при увеличении скорости воздуха.

Судя по результатам наших опытов, величину уноса у различных типов тарелок не всегда можно определить по величине зеркала барботажа. Так, например, у тарелок с пластинчатыми и круглыми клапанами доля зеркала барботажа почти одинакова, в то время как унос получился различным. При определении величины уноса следует учитывать также характер распределения и направления газовых струй при прохождении через тарелку. Унос зависит от скорости воздуха в прорезях колпачка и в отверстиях тарелок [1, 3], а следовательно, и от живого сечения тарелки. Он зависит также от условий столкновения газовых (паровых) струй [2]. Все эти факторы не учитываются величиной доли зеркала барботажа. Большой унос тарелок с пластинчатыми клапанами по сравнению с тарелками с круглыми клапанами объясняется частично тем, что у последних расстояние между клапа-

нами значительно большее, и следовательно, столкновение струй воздуха менее интенсивно.

Кривые на графиках говорят о том, что при исследованных скоростях воздуха и расстоянии между тарелками 300 мм унос далек от тех значений, которые серьезно могут повлиять на к. п. д. тарелки. При уменьшении расстояния между тарелками до 200 мм унос значительно возрастает. Однако для тарелок ситчатых и с круглыми клапанами при этом расстоянии между тарелками унос не может оказать заметного влияния на к. п. д. тарелки.

Нами сделана попытка обобщить данные проведенных опытов и вывести уравнения для определения величины уноса в зависимости от изменения ряда факторов.

Результаты наших опытов, а также результаты многочисленных исследований других авторов показали, что унос зависит от скорости воздуха в свободном сечении колонны, от расстояния между тарелками и от типа тарелок. Кроме того, унос зависит от глубины барботажа и от физико-химических свойств газа (пара) и жидкости [1, 3, 4]. Ю. К. Молоканов и А. И. Скобло нашли [4], что унос возрастает с увеличением глубины барботажа, удельного веса и вязкости газа и уменьшается с увеличением поверхностного натяжения и удельного веса жидкости.

На основании сказанного выше можно записать:

$$E = f(w, H, K, A, B)$$

или
$$E = \frac{w^m}{H^n} KAB, \quad (1)$$

где E — абсолютный унос, % от количества орошающей жидкости;
 w — скорость воздуха в свободном сечении колонны, м/сек;
 H — расстояние между тарелками, м;
 K — коэффициент, учитывающий влияние конструкции тарелки;
 A — коэффициент, учитывающий влияние глубины барботажа;
 B — коэффициент, учитывающий влияние физико-химических свойств газо-жидкостной системы.

В настоящей работе не изучалось влияние глубины барботажа и физико-химических свойств газо-жидкостной системы. Поэтому во всех опытах высота сливной перегородки оставалась постоянной (40 мм) и газо-жидкостная система была одна и та же (воздух—вода). Так как при этом коэффициенты A и B в формуле (1) оставались постоянными, то их можно объединить и заменить одним коэффициентом C . Тогда уравнение (1) примет вид:

$$E = C \frac{w^m}{H^n} K. \quad (2)$$

Для нахождения зависимости уноса от скорости воздуха были обработаны методом средних те опыты, в которых изменялась только скорость воздуха в свободном сечении колонны, а все остальные факторы оставались постоянными. Усредняя полученные величины для различных типов тарелок, нашли: 1) для тарелок с круглыми клапанами с трапецевидными зубьями, с круглыми клапанами с треугольными зубьями и ситчатых тарелок при скорости воздуха больше 1 м/сек $m = 2,7$; 2) для тарелок с пластинчатыми клапанами при скорости воздуха больше 1 м/сек $m = 1,7$; 3) для колпачковых тарелок при скорости воздуха больше 1 м/сек $m = 4$, при скорости воздуха меньше 1 м/сек $m = 3$. Подобным же образом мы определили характер зависимости уноса от расстояния между тарелками. Показатель

степени n при величине H оказался равным 3.

Влияние конструкции различных типов тарелок на унос определялось путем сравнения их с ситчатой тарелкой, которая имеет минимальный унос. Для этого введен коэффициент конструкции K , который для ситчатой тарелки принят равным 1. В результате обработки опытных данных получили: для тарелок с круглыми клапанами с трапециевидными и треугольными зубьями $K=2,1$; для тарелок с пластинчатыми клапанами $K=6,9$; для колпачковых тарелок $K=4,55$.

Коэффициент C для газо-жидкостной системы воздух—вода и высоты сливной перегородки 40 мм равен 0,0036 или $3,6 \cdot 10^{-3}$.

Таким образом, были найдены следующие зависимости для определения величины уноса при скорости воздуха больше 1 м/сек, т. е. в условиях устойчивой работы клапанных тарелок:

для ситчатых тарелок

$$E = 3,6 \cdot 10^{-3} \frac{\omega^{2,7}}{H^3}; \quad (3)$$

для клапанных тарелок с круглыми клапанами с треугольными и трапециевидными зубьями

$$E = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1 \frac{\omega^{2,7}}{H^3}; \quad (4)$$

для тарелок с пластинчатыми клапанами

$$E = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 6,9 \frac{\omega^{1,7}}{H^3}; \quad (5)$$

для колпачковых тарелок

$$E = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 4,55 \frac{\omega^4}{H^3}. \quad (6)$$

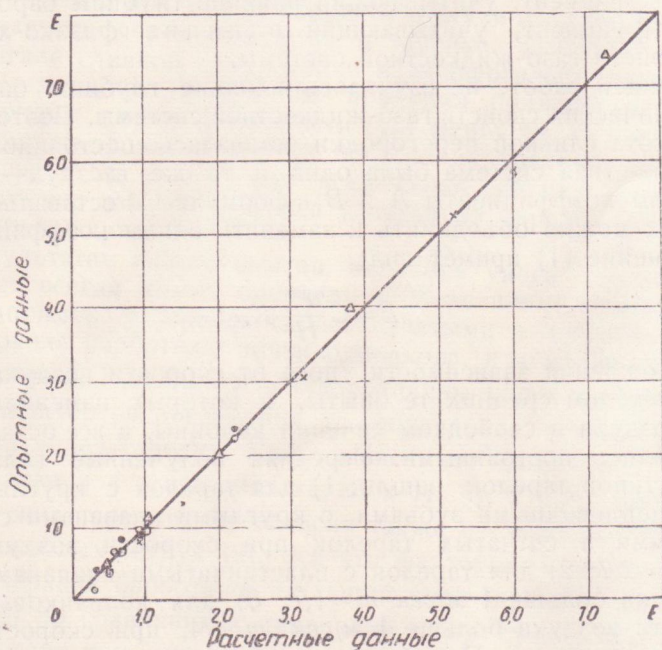


Рис. 4. Сравнение опытных данных по уносу с рассчитанными по уравнениям.

Для колпачковых тарелок получена также зависимость при скорости воздуха меньше 1 м/сек:

$$E=3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 4,55 \frac{\omega^3}{H^3}. \quad (7)$$

На рис. 4 построен график, сравнивающий опытные данные с вычисленными по приведенным формулам. Условные обозначения для различных типов тарелок здесь приняты те же, что на рис. 2 и 3. Как показывают результаты сравнения, точность расчетных данных вполне удовлетворительна.

ВЫВОДЫ

1. В клапанных тарелках унос меньше по сравнению с колпачковыми тарелками и больше, чем в ситчатых тарелках.
 2. Среди клапанных тарелок лучшими являются тарелки с круглыми клапанами, так как они имеют меньший унос, приближающийся к уносу у ситчатых тарелок.
 3. Тарелки с круглыми клапанами и ситчатые могут работать при скорости воздуха больше 1 м/сек и расстоянии между тарелками 200 мм, так как их унос при этом не оказывает заметного влияния на к. п. д. тарелки.
- Тарелки колпачковые и с пластинчатыми клапанами при скорости воздуха больше 1 м/сек следует устанавливать при расстоянии между тарелками не меньше 300 мм.

Кафедра процессов и аппаратов

Поступила 15 VIII 1960

ЛИТЕРАТУРА

1. Стабников В. Н., Харин С. Е. Теоретические основы перегонки и ректификации спирта. Пищепромиздат, М., 1951.
2. Носков А. А. Влияние конструктивного фактора на унос в тарельчатых колоннах. Канд. дисс., ЛТИ им. Ленсовета, 1947.
3. Марфенина И. В. Кислород, № 5, 10, 1948.
4. Молоканов Ю. К., Скобло А. И. Изв. вузов СССР, Нефть и газ, №1, 49, 1959.
5. Аксельрод Л. С., Юсова Г. М. Кислород, № 4, 1, 1950.
6. Sherwood T. K., Jenny F. J. Industr. and Engng. Chem., 27, № 3, 265, 1935.
7. Peavy C. S., Baker E. M. Industr. and Engng. Chem., 29, № 9, 315, 1937.
8. Малезик И. Ф., Стабников В. Н. Тр. Киевск. технол. ин-та пищ. пром-сти, вып. 22, 158, 1960.