

И. Ф. МАЛЕЖИК, В. Н. СТАБНИКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ КЛАПАННЫХ ТАРЕЛОК

Основной задачей, которая стоит в настоящее время перед конструкторами аппаратов для перегонки и ректификации спирта, является увеличение спиртосъема с единицы объема колонн. Одним из путей решения этой задачи, наряду с использованием новых эффективных типов колонн, является применение новых типов тарелок, увеличивающих массопередачу на единицу объема колонны.

В последние годы предложен ряд новых типов тарелок, дающих возможность создать большие скорости потоков, осуществить наибольшую турбулизацию их и за счет этого повысить разделяющее действие колонн.

Значительный интерес представляют новые конструкции колонн с клапанными тарелками, которые были введены в эксплуатацию в последнее время некоторыми заграничными фирмами [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Данные о конструкции этих тарелок и их работе, которые были опубликованы в печати, весьма скудны и противоречивы.

Возможность применения клапанных тарелок для ректификации спирта пока еще совершенно не исследовалась. Предполагается, что колонны с клапанными тарелками дадут возможность в 2—3 раза увеличить съем продукции с единицы объема аппарата по сравнению со старыми конструкциями колонн [2].

Нами была поставлена задача исследовать на холодном стенде гидродинамические условия работы колонн с клапанными тарелками.

В результате исследований гидродинамики клапанных тарелок предсудматривалось определить:

- а) условия равномерности работы клапанных тарелок;
- б) оптимальные конструкции клапанов и их крепления к тарелке;
- в) характер барботажа;
- г) сопротивление тарелок;
- д) в случае работы с пластинчатыми клапанами — влияние на характер барботажа направления легких краев клапанов: в сторону движения жидкости или против движения жидкости;
- е) оптимальную скорость воздуха в свободном сечении колонны и тарелки.

когда отдельные струи воздуха достигали поверхности жидкости, не дробясь на отдельные пузырьки. На тарелке при этом образовывался слой бурлящей жидкости, а пена появлялась в незначительном количестве только по краям тарелки, т. е. у стенок колонны.

При скорости воздуха > 1 м/сек наблюдалось сильное фонтанирование (инжектирование). Жидкость при этом находилась на тарелке почти в полувзвешенном состоянии в виде брызг. Пенный режим на тарелке при этой высоте сливной перегородки не наблюдался.

В период неравномерной работы изменение сопротивления тарелки с ростом скорости газа имеет ступенчатый характер (рис. 6). При повышении скорости воздуха сопротивление тарелки нарастало до тех пор, пока в работу не включался очередной клапан, а затем несколько снижалось. Наблюдения показали, что максимум на кривой сопротивления совпадает с моментом включения новых клапанов в работу. Плавное нарастание сопротивления характерно только для зоны устойчивой работы, т. е. после включения всех клапанов в работу.

Следует отметить, что Аверьянов и Аксельрод, изучая тарелки с туннельными колпачками [1], наблюдали неравномерность их в работе, подобную неравномерности в работе клапанных тарелок.

Как видно из рис. 7, сопротивление клапанной тарелки увеличивается с увеличением плотности орошения. Это объясняется тем, что

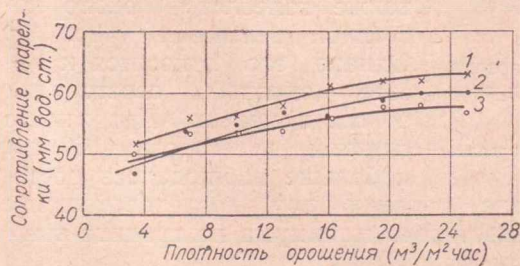


Рис. 7. Зависимость сопротивления тарелки №16 от плотности орошения при скорости воздуха в свободном сечении колонны:

1—1, 2—0,5, 3—0,2 м/сек.

увеличивалось. Для оценки способности тарелки к удержанию жидкости после прекращения подачи воздуха мы ввели коэффициент протекания жидкости через тарелку, под которым подразумевается количество жидкости, стекающей с единицы площади рабочей части тарелки

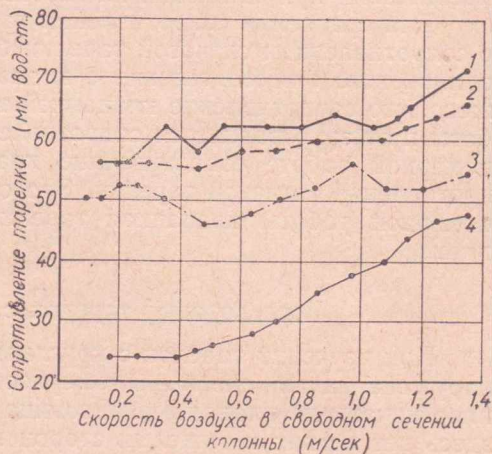


Рис. 6. Зависимость сопротивления тарелки №16 от скорости воздуха при плотности орошения:

1—25, 2—16, 3—3 м³/м² час, 4—сухая тарелка.

увеличение плотности орошения вызывает изменение высоты слоя жидкости на тарелке.

Как показали опыты, сопротивление клапанных тарелок для всей неустойчивой зоны в основном колеблется около постоянной величины и начинает нарастать только с момента начала устойчивой работы, т. е. с момента вступления всех клапанов в работу.

С увеличением веса клапана, приходящегося на единицу площади отверстия в тарелке, сопротивление тарелки

за единицу времени при начальной высоте слоя жидкости, равной высоте сливной перегородки. Чем меньше этот коэффициент, тем больше удерживающая способность тарелки. По данным наших опытов, этот коэффициент для тарелок с пластинчатыми клапанами равнялся $180 \text{ л/м}^2 \text{ час}$, при этом тарелка освобождалась от жидкости после прекращения подачи воздуха через 15 мин. Вероятно, при более тщательной подгонке клапанов этот коэффициент можно несколько уменьшить. Уровень жидкости на клапанных тарелках постоянен, так как нет препятствий при движении жидкости по тарелке.

Для сравнения сопротивления тарелки с пластинчатыми клапанами с сопротивлением ситчатой тарелки была изготовлена ситчатая тарелка одинакового живого сечения с клапанной тарелкой. При этом обнаружено, что сопротивление клапанной тарелки в режиме равномерной работы примерно равняется сопротивлению ситчатой тарелки. При неравномерной работе сопротивление клапанной тарелки больше, чем сопротивление ситчатой тарелки. Это объясняется тем, что в зоне неравномерной работы клапанная тарелка работает не всем живым сечением.

Исследования тарелок с круглыми клапанами

При изучении тарелок с круглыми клапанами (рис. 3—5) была обнаружена такая же неравномерность их в работе, как и тарелок с пластинчатыми клапанами. Разница заключалась только в том, что здесь нет легких и тяжелых сторон клапанов, поэтому каждый клапан

в период включения его в работу подымается всеми краями в равной мере. Иногда во время работы один из клапанов закрывался, а вместо него вступал в работу другой клапан.

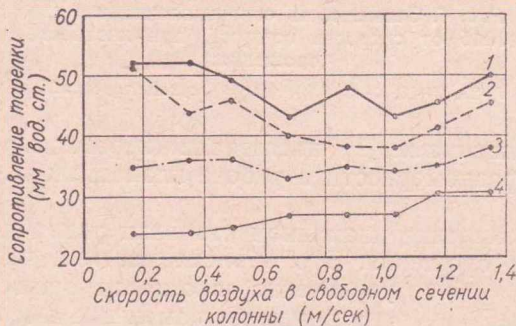


Рис. 8. Зависимость сопротивления тарелки № 6 от скорости воздуха при плотности орошения:

1—23,2, 2—16, 3—5,15 $\text{м}^3/\text{м}^2 \text{ час}$, 4—сухая тарелка.

Опыты показали, что сопротивление тарелок с круглыми клапанами на протяжении зоны неустойчивой работы также колеблется около постоянной величины (рис. 8). Однако это относится к высоте сливной перегородки 40 мм и меньше. При высоте сливной перегородки 60 мм и больше наблюдалось постепенное уменьшение сопротивления тарелки при последовательном включении клапанов в работу и достигало минимума на границе зоны неустойчивой и устойчивой работы (рис. 9).

На сопротивление тарелки с круглыми клапанами оказывали влияние те же факторы, что и на сопротивление тарелок с пластинчатыми клапанами.

Нами были исследованы вначале тарелки с клапанами, удерживаемыми с помощью скоб (рис. 3). При проведении опытов обнаружено, что клапаны при этом подвергались перекосу и даже при значительных скоростях воздуха часто открывались не полностью. В связи с этим в дальнейшем при испытании различных клапанов нами были изготовлены новые удерживающие приспособления (рис. 4, 5). При этом клапа-

ны во время работы не перекашивались. Кроме того, эти приспособления предоставляли возможность применять клапаны с зубчатыми краями для дробления воздуха. Изготовление же этих приспособлений не сложнее, а даже проще удерживающей скобы, показанной на рис. 3.

Характер барботажа на тарелках с круглыми клапанами примерно такой же, как и на тарелках с пластинчатыми клапанами. На тарелках с зубчатыми клапанами (рис. 4, 5) несколько увеличивалось дробление газовых струй, за счет чего улучшался контакт газа с жидкостью.

Способность к удерживанию жидкости этих тарелок при надлежащей подгонке клапанов очень хорошая. В наших опытах коэффициент протекания составлял $0,27 \text{ л/м}^2 \text{ час}$, при этом тарелка с высотой сливной перегородки 40 мм освобождалась от жидкости за 8 суток.

При значительном диаметре колонны, вероятно, целесообразно делать клапаны различного веса. Желательно одну половину от всего количества клапанов делать одного веса, а вторую половину — другого веса. Более легкие и более тяжелые клапаны при этом нужно равномерно распределять по всей тарелке.

Применение клапанов двух различных весов позволяет равномерно распределить работающие клапаны в зоне неравномерной работы по всей тарелке. При применении же клапанов одного веса возможно рассредоточение всех работающих клапанов в одном месте, а это отрицательно сказывается на эффективности работы тарелки.

Для сравнения режима барботажа и сопротивления тарелки с круглыми клапанами с существующими типами тарелок были изготовлены и испытаны колпачковая и ситчатая тарелки такого же живого сечения и с такой же высотой сливной перегородки, как и клапанная тарелка. При исследовании обнаружено, что характер барботажа на клапанных и колпачковых тарелках один и тот же. Пенного режима на колпачковой тарелке при высоте сливной перегородки до 40 мм также обнаружено не было. Что касается ситчатой тарелки, то при высоте сливной перегородки 60 мм и скорости воздуха до $0,5 \text{ м/сек}$ на ней наблюдался пенный режим. Но при дальнейшем повышении скорости воздуха режим работы этой тарелки не отличался от режима клапанной тарелки.

Следует отметить, что при значительном увеличении высоты сливной перегородки клапанные тарелки всех конструкций также могут работать в пенном режиме. Но для этого, как показали, опыты, высота сливной перегородки должна быть $>80 \text{ мм}$.

Что касается сопротивления тарелки с круглыми клапанами в зоне устойчивой работы, то оно равняется сопротивлению ситчатой тарелки и незначительно выше сопротивления колпачковой тарелки.

При скорости воздуха в свободном сечении колонны выше $1,3 \text{ м/сек}$ иногда наблюдалось захлебывание самой верхней клапанной тарелки. Но это, по-видимому, объясняется не только большой скоростью, но и

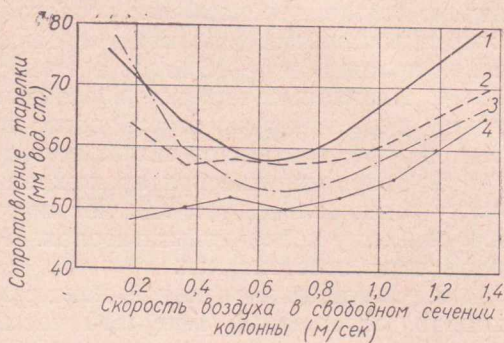


Рис. 9. Зависимость сопротивления тарелки № 5в от скорости воздуха при плотности орошения:

1—23,4, 2—10,5, 3—16, 4—4,46 $\text{м}^3/\text{м}^2 \text{ час}$.

когда отдельные струи воздуха достигали поверхности жидкости, не дробясь на отдельные пузырьки. На тарелке при этом образовывался слой бурлящей жидкости, а пена появлялась в незначительном количестве только по краям тарелки, т. е. у стенок колонны.

При скорости воздуха > 1 м/сек наблюдалось сильное фонтанирование (инжектирование). Жидкость при этом находилась на тарелке почти в полувзвешенном состоянии в виде брызг. Пенный режим на тарелке при этой высоте сливной перегородки не наблюдался.

В период неравномерной работы изменение сопротивления тарелки с ростом скорости газа имеет ступенчатый характер (рис. 6). При повышении скорости воздуха сопротивление тарелки нарастало до тех пор, пока в работу не включался очередной клапан, а затем несколько снижалось. Наблюдения показали, что максимум на кривой сопротивления совпадает с моментом включения новых клапанов в работу. Плавное нарастание сопротивления характерно только для зоны устойчивой работы, т. е. после включения всех клапанов в работу.

Следует отметить, что Аверьянов и Аксельрод, изучая тарелки с туннельными колпачками [1], наблюдали неравномерность их в работе, подобную неравномерности в работе клапанных тарелок.

Как видно из рис. 7, сопротивление клапанной тарелки увеличивается с увеличением плотности орошения. Это объясняется тем, что увеличение плотности орошения вызывает изменение высоты слоя жидкости на тарелке.

Как показали опыты, сопротивление клапанных тарелок для всей неустойчивой зоны в основном колеблется около постоянной величины и начинает нарастать только с момента начала устойчивой работы, т. е. с момента вступления всех клапанов в работу.

С увеличением веса клапана, приходящегося на единицу площади отверстия в тарелке, сопротивление тарелки

увеличивалось. Для оценки способности тарелки к удержанию жидкости после прекращения подачи воздуха мы ввели коэффициент протекания жидкости через тарелку, под которым подразумевается количество жидкости, стекающей с единицы площади рабочей части тарелки

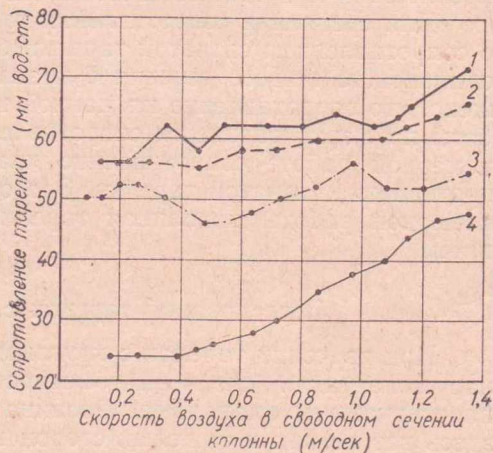


Рис. 6. Зависимость сопротивления тарелки №16 от скорости воздуха при плотности орошения:

1—25, 2—16, 3—3 м³/м² час, 4—сухая тарелка.

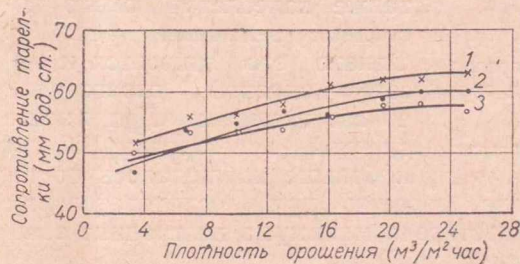


Рис. 7. Зависимость сопротивления тарелки № 16 от плотности орошения при скорости воздуха в свободном сечении колонны:

1—1, 2—0,5, 3—0,2 м/сек.

недостаточной пропускной способностью сливного стакана, так как захлабывание происходило только при высокой плотности орошения, составляющей $16 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ час}$ и более.

Опыты показали, что наиболее подходящее живое сечение клапанной тарелки составляет 10% от всей площади тарелки. При живом сечении <10% увеличивается сопротивление тарелки, а при живом сечении >10% получается слишком малое расстояние между клапанами.

Выводы

1. Сопротивление клапанных тарелок в зоне устойчивой работы приблизительно равняется сопротивлению ситчатых тарелок и на 4—5 мм вод. ст. выше сопротивления колпачковых тарелок.

2. Сопротивление клапанных тарелок в зоне неравномерной работы при увеличении скорости воздуха колеблется около постоянной величины.

3. Клапанные тарелки допускают применение в широких пределах нагрузок по воздуху и жидкости. Так, во время опытов клапанные тарелки работали при скорости воздуха $0,1 \div 1,3 \text{ м/сек}$ и плотности орошения $1,5 \div 2,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ час}$.

Установлено, что оптимальное живое сечение клапанных тарелок различных конструкций составляет 10% от площади всей тарелки. Выявлено также, что наиболее целесообразная скорость воздуха при работе с клапанными тарелками составляет $0,8 \text{—} 1,2 \text{ м/сек}$ в свободном сечении колонны и $8 \text{—} 12 \text{ м/сек}$ в отверстиях тарелки.

4. Клапанные тарелки, в особенности с круглыми клапанами, хорошо удерживают жидкость после прекращения подачи воздуха, что выгодно их отличает от ситчатых тарелок.

5. Сопротивление при прохождении жидкости через клапанную тарелку, минимально, так как нет препятствий на поверхности тарелки, имеющих у колпачковых тарелок. Поток воздуха или жидкости может быть легко восстановлен.

6. Самой рациональной конструкцией клапана является круглый клапан, обращенный выпуклой частью вверх, который дает возможность обеспечить наилучшее прилегание клапана к тарелке и, следовательно, самый низкий коэффициент протекания.

7. Тарелки с клапанами можно рекомендовать для работы на чистых жидкостях, т. е. в ректификационной и эспирационной колоннах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянов И. Г., Аксельрод Л. С., Условия неравномерной работы колпачковых тарелок. «Химическая промышленность», 1959, № 3.
2. Кафаров В. В., Современное состояние техники дистилляции, «Химическая наука и промышленность», 1957, № 1.
3. Мунтян В. М., Павлов А. А., Новые конструкции тарелок ректификационных аппаратов, ГОСИНТИ, 1958.
4. Патент США, Аппарат для контактирования газа с жидкостью, 2772080, 1956.
5. Цыганков П. С., Контактные устройства ректификационных колонн, «Спиртовая промышленность», 1957, № 4.
6. Nutter I. E., Float valve bubble trays, Petroleum Engineering, 1954, № 5; Oil and Gas Journal, 1954, № 51; Chemical Engineering, 1954, № 5.
7. Thrift G. C., Flexitray, Chemical Engineering, 1954, № 5; Oil and Gas Journal, 1954, № 51.

(Получена редакцией 13 января 1960 г.)

ва — 19 млн. бутылок. Для выполнения производственной программы рабочие должны перевыполнить установленную норму на 21,5%

$$\left(\frac{19,0}{15,67} \cdot 100 = 121,5\% \right).$$

Из отчетных данных завода видно, что рабочие выполняют нормы выработки на 135%. Фактическая выработка по наполнению пивом бутылок составит

$$\frac{15,67 \cdot 135}{100} = 21,15 \text{ млн, или } \frac{21,15}{19,0} \cdot 100 = 111,3\%.$$

Таким образом, из приведенных данных видно, что планируемая производственная программа может быть выполнена лишь в том случае, если действующие нормы выработки будут перевыполняться.

Наличие различных показателей выполнения норм выработки: по солодовенному цеху 129,6% и 135%, по варочному отделению 135,9% и 136%, по бродильному отделению 113,7% и 133%, по лагерному отделению 118,0% и 131%, по цеху бутылочного розлива 121,5% и 135% — свидетельствует о том, что исходные данные для определения процента выполнения норм выработки берутся неправильные.

При определении процента выполнения норм выработки следует исходить из фактической выработки и установленной производственной программы (4270,7 и 4100 т солода, 353 953,6 и 353 673 дкл сусла, 392 025,5 и 335 089 дкл зеленого пива, 356 676,3 и 321 449 дкл лагерного пива, 21,15 и 19 млн. бутылок пива), а не из того количества вырабатываемой продукции (3163,5 т солода, 260 260 дкл сусла, 294 756 дкл зеленого пива, 272 272 дкл лагерного пива и 15,67 млн. бутылок пива), которая явилась следствием действующих заниженных норм выработки.

Следует отметить, что наличие резкого колебания в показателях выполнения выработки: по солодовенному цеху 129,6—135—104,1%, по варочному отделению 135,9—136—100,07% и т. д. приводит к разному в выплате заработной платы рабочим. Если рабочие не перевыполняют установленных норм (на 29,6%, 35,9% и т. д.), они получают заработную плату на уровне дневной тарифной ставки того или иного разряда работы, а вместе с тем производственная программа не будет выполнена. Таким образом, приведенный расчет подтверждает наличие недостатков в постановке технического нормирования на предприятиях.

В связи с подготовкой к переходу пивоваренных заводов на новые тарифные условия и 7-часовой рабочий день следовало бы одновременно навести должный порядок в нормировании труда для обеспечения дальнейшего роста производительности труда.

Выводы

Приведенные данные о подсчете выполнения норм выработки подтверждают, что действующие нормы затрат труда на пивоваренных заводах занижены. Предлагается выявленные недочеты устранить при переходе на новые тарифные условия.

(Получена редакцией 28 июня 1960 г.)