

## АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ТАРЕЛКИ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ

*Д.Н. Майтам*

Проанализирована работа клапанной тарелки конструкции, позволяющей повысить эффективность проведения массообменных процессов по показателю межтарельчатого уноса жидкости. Проведены исследования параметров тарелки новой конструкции по эффективности насыщения потока воздуха влагой.

### Введение

В ректификационных колоннах применяются тарелки различных конструкций, существенно различающиеся по своим рабочим характеристикам и технико-экономическим показателям. При этом наряду с самыми современными конструкциями в эксплуатации находятся и тарелки традиционных конструкций: ситчатые, колпачковые. При оценке конструкций тарелок обычно принимают во внимание следующие показатели [1]:

- производительность;
- гидравлическое сопротивление;
- эффективность при различных рабочих нагрузках;
- диапазон рабочих нагрузок в условиях достаточно высокой эффективности;
- сопротивление одной теоретической тарелки при разных рабочих нагрузках;
- возможность работы на средах, склонных к образованию инкрустаций, к полимеризации и т.п.;
- простоту конструкции, проявляющуюся в трудоемкости изготовления, монтажа, ремонтов;
- металлоемкость.

Тарелок универсальных конструкций не существует. В большинстве случаев для оценки достаточно иметь данные по основным показателям.

Направление ввода пара (газа) в жидкость оказывает существенное влияние как на производительность, так и на эффективность работы тарелки, а также на характер зависимости эффективности от нагрузки по пару.

Для увеличения производительности тарелки следует использовать контактирование фаз в прямотоке. Однако чистый прямоток не обеспечивает высокой эффективности контакта фаз. Поэтому стремятся задержать развитие прямоточного движения, устанавливая отбойники или вертикальные перегородки в направлении поперечном потоку жидкости, изменяя направление ввода пара на смежных элементах тарелки, применяя специальные конструктивные элементы.

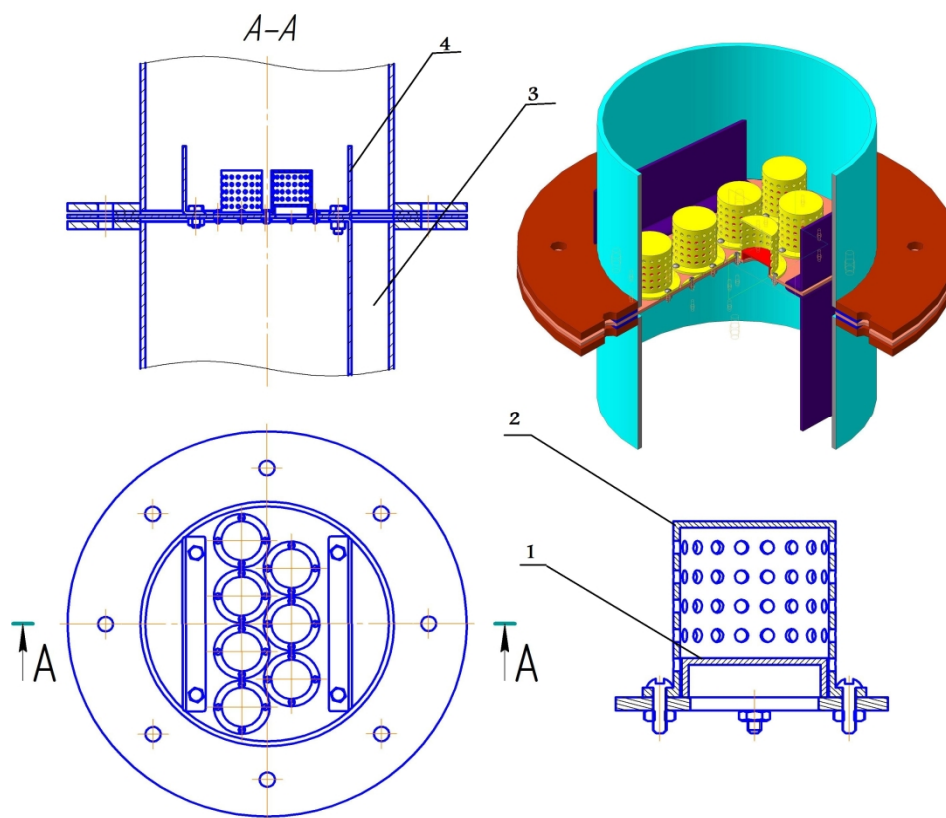
Целью исследований являлось определение межтарельчатого уноса жидкости и степени насыщения воздуха влагой усовершенствованной клапанной тарелки в зависимости от некоторых геометрических особенностей клапана и диаметра отверстий в нем.

### Результаты исследований и их обсуждение

Для повышения эффективности проведения массообменных процессов разработана новая конструкция клапанной тарелки, представленная на рисунке 1. Отличительной особенностью тарелки является наличие перфорированных колпачков 2, которые крепятся к тарелке болтами, и саморегулирующихся дисковых клапанов 1, способных подниматься при движении пара (газа). Диаметр отверстий в тарелке для прохода газовой фазы несколько меньше диаметра дисковых клапанов 1 и перфорированных колпачков 2, благодаря чему клапан удерживается на тарелке. Высота подъема клапана ограничивается высотой колпачка. Исследовались два типа колпачка: с высоким подъемом клапана до 27 мм и низким подъемом клапана до 21 мм. Кроме этого перфорация колпачка была выполнена в двух вариантах: 2 и 3 мм.

Принцип работы тарелки следующий. Свободно лежащий над отверстием в тарелке

клапан с изменением расхода газа своим весом автоматически регулирует величину площади зазора между клапаном и плоскостью тарелки для прохода газа и тем самым поддерживает постоянной скорость газа при его истечении в барботажный слой. При этом с увеличением скорости газа в колонне гидравлическое сопротивление клапанной тарелки увеличивается незначительно. Жидкость поступает по трубке сверху на тарелку, переливается через приемный порог. Снизу поднимается газ, проходя через прорези в колпачках, попадает в жидкость и барботирует через неё в виде пузырьков. При увеличении столба жидкости над тарелкой она переливается через перегородку 4 и стекает вниз, откуда удаляется из колонны.

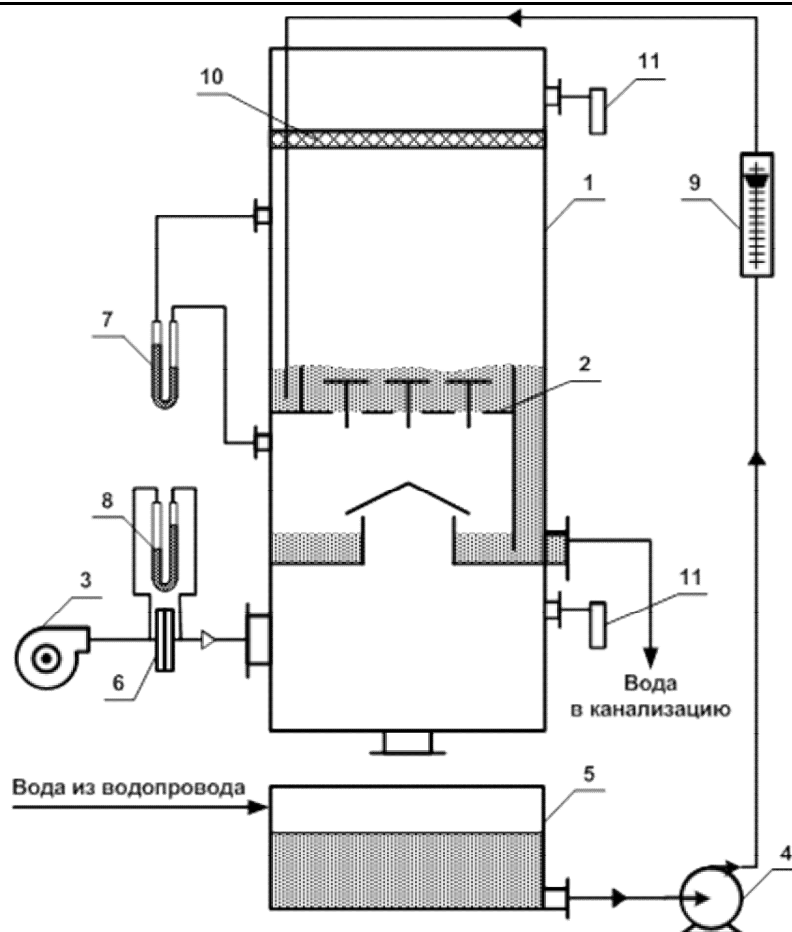


1 – клапан; 2– колпачок; 3 – сливной стакан; 4 – перегородка сливного стакана

**Рисунок 1 – Конструкция разработанной клапанной тарелки**

Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 2. Колонна представляет набор металлических царг, соединенных между собой болтами. Стенки царг выполнены из оргстекла, благодаря которым можно визуально наблюдать за работой исследуемой тарелки. Свободное сечение колонны –  $0,01629 \text{ м}^2$ . Конструкция колонны позволяет устанавливать одну или несколько тарелок, менять межтарельчатое расстояние в зависимости от задач исследования. Тарелки располагаются между царгами. Царги по периметру обжимаются болтами. В колонну 1 врезаны штуцера под устройства определения давления, подключенные к дифференциальному манометру 7, которым измерялся перепад давления на тарелке. Для измерения влажности воздуха на входе в колонну и на выходе из нее в нижней царге и в верхней части колонны установлены термогигрометры 11.

Воздух нагнетается в нижнюю часть колонны 1 вентилятором 3. Измерение расхода воздуха осуществлялось с помощью диафрагмы 6 и дифференциального манометра 8. В питающий резервуар 5 из сетевого водопровода подается необходимое количество воды, откуда насосом 4 подается в массообменную колонну.



1 – массообменная колонна; 2 – клапанная тарелка; 3 – вентилятор; 4 – насос;  
5 – питающий резервуар; 6 – диафрагма; 7,8 – дифманометры; 9 – ротаметр;  
10 – каплеотбойник; 11 – термогигрометры

**Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки**

Жидкость, подаваемая насосом в колонну, поступает по трубке сверху на тарелку, переливается через приемный порог тарелки. Снизу поднимается воздух, проходя через прорезы в колпачках, он попадает в жидкость и барботирует через неё в виде пузырьков. При увеличении столба жидкости над тарелкой она переливается через сливную перегородку и стекает в приемник, откуда через штуцер удаляется из колонны в канализацию. Расход жидкости, подаваемой в колонну, измерялся ротаметром 9.

Фиктивная (приведенная) скорость воздуха в колонне  $w$ , м/с, т.е. отнесенная к полному сечению колонны, определялась по уравнению [2]:

$$w = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot d^2}, \quad (1)$$

где  $V$  – объемный расход воздуха в колонне, определяемый с помощью диафрагмы и дифманометра, м<sup>3</sup>/с;

$d$  – внутренний диаметр колонны, равный 0,144 м.

Проанализируем работу тарелки по показателю межтарельчатого уноса жидкости. Унос жидкости на вышележащие тарелки потоком паров приводит к ухудшению эффективности работы тарелок и увеличению их жидкостных нагрузок. Поэтому при гидравлическом расчете необходимо определять и величину межтарельчатого уноса при рабочих нагруз-

ках тарелки по пару и жидкости.

Для определения количества уносимой жидкости на расстоянии  $H$  (расстояние от тарелки до сборника жидкости) был смонтирован каплеотбойник с каплеуловителем. Унос жидкости определялся как количество жидкости, собранной с помощью каплеуловителя.

При измерениях величины уноса жидкости приведенная скорость  $w$  изменялась в диапазоне 1,7–2,21 м/с. Измерения проводились при различной плотности орошения тарелки  $q$ : 8,6 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч; 10,8 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч; 13,2 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч; 15,5 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч. Высота сепарационного пространства  $H$  в ходе эксперимента принимала фиксированные значения 280 мм и 380 мм.

При анализе величины уноса жидкости на тарелке новой конструкции проводилось также сравнение её с расчетными значениями для тарелок с дисковыми клапанами. Расчетные значения уноса жидкости, определялись согласно данным работы [3] по уравнению

$$e = 0,757 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{w^{2,7}}{H^3}, \quad (2)$$

где  $e$  – относительный унос жидкости на вышележащую тарелку, кг жидкости/кг газа;

$w$  – скорость газа в колонне, м/с;

$H$  – расстояние между тарелками, м.

На рисунках 3,4 представлены результаты измерений для колпачка с высоким подъемом клапана до 27 мм; на рисунках 5,6 – с низким подъемом клапана до 21 мм. Для сравнения приведены расчетные значения величины уноса жидкости для тарелок с дисковыми клапанами по уравнению (2).

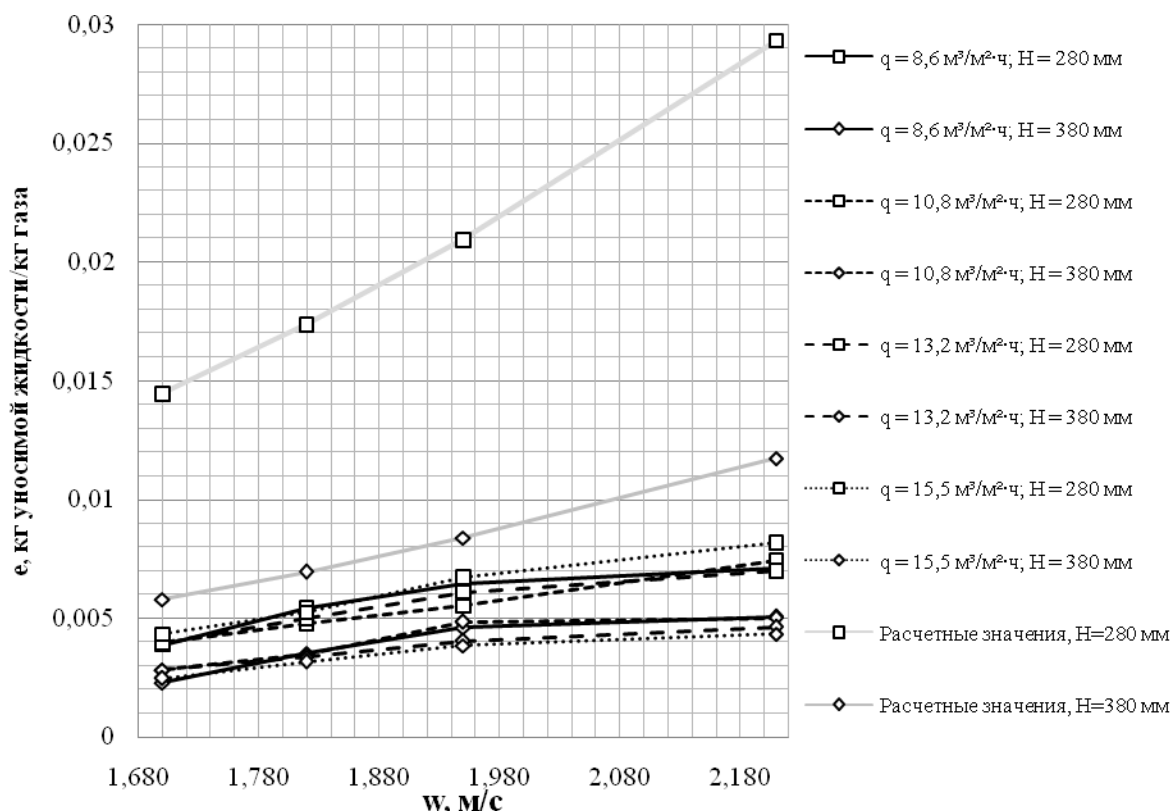


Рисунок 3 – Зависимость относительного уноса жидкости от скорости газа в колонне (длинный колпачок, перфорация колпачка 2 мм)

Проанализировав результаты экспериментальных измерений значений уноса жидкости для тарелки новой конструкции, стоит отметить стабильность работы тарелки в широком интервале скоростей по пару и незначительное увеличение доли уносимой жидкости.

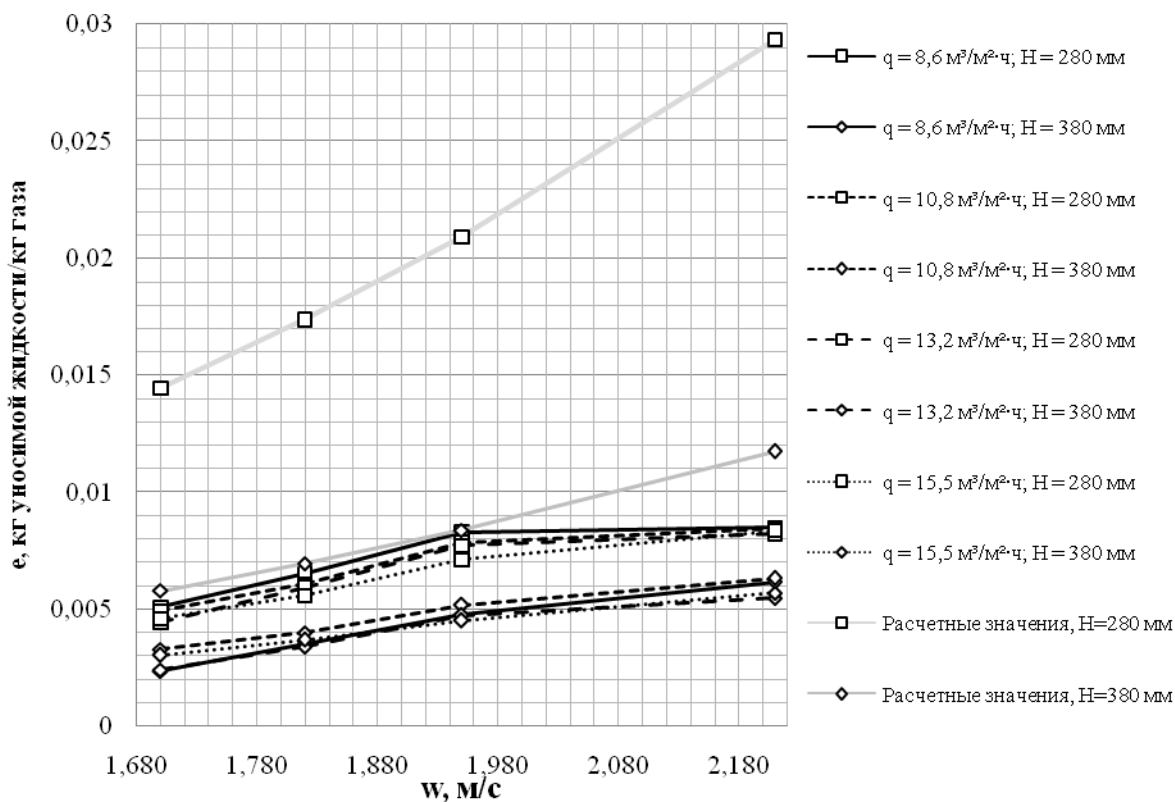


Рисунок 4 – Зависимость относительного уноса жидкости от скорости газа в колонне (короткий колпачок, перфорация колпачка 2 мм)

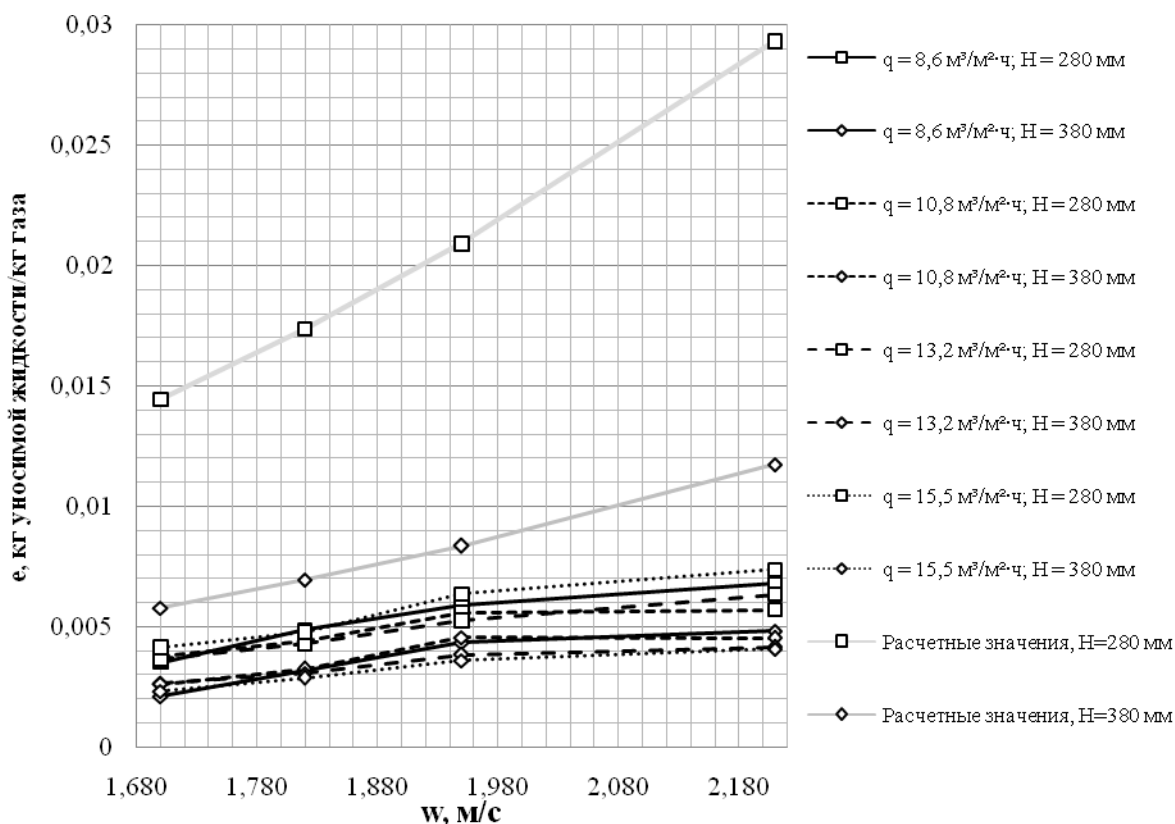
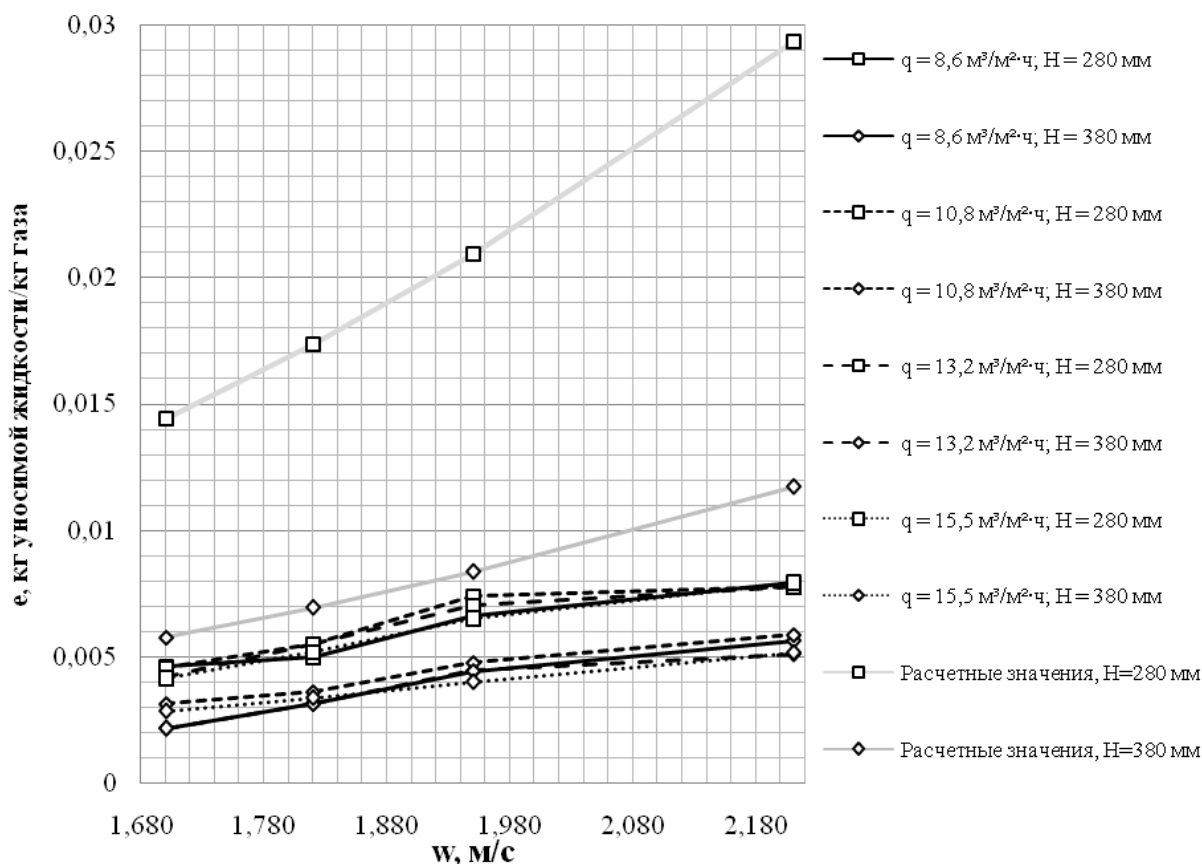


Рисунок 5 – Зависимость относительного уноса жидкости от скорости газа в колонне (длинный колпачок, перфорация колпачка 3 мм)



**Рисунок 6— Зависимость относительного уноса жидкости от скорости газа в колонне (короткий колпачок, перфорация колпачка 3 мм)**

Также можно сделать вывод о том, что величина интенсивности орошения тарелки не оказывает заметного влияния на значение величины уноса жидкости с тарелки в отличие от приведенной скорости газа в колонне и высоты сепарационного пространства.

Увеличение приведенной скорости газа приводит к увеличению значения уноса жидкости с тарелки, а увеличение высоты сепарационного пространства – к его уменьшению, что согласуется с литературными источниками и практическими данными по работе клапанных тарелок.

Следующим этапом исследования параметров тарелки новой конструкции были эксперименты по определению эффективности насыщения потока воздуха влагой.

В работе исследовалась эффективность тарелки по газу при насыщении воздуха влагой в зависимости от фактора скорости газа в рабочем сечении тарелки  $F_p$  и плотности орошения тарелки  $q$ . При этом фактор скорости газа варьировался в пределах от 1,08 до 2,3  $\text{кг}^{0,5}/(\text{м}^{0,5}\cdot\text{с})$ , плотность орошения  $q$  изменялась в пределах от 8,6 до 15,5  $\text{м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$ .

Эффективность при испарении жидкости определялась на системе воздух–вода с учетом влажности воздуха на входе,  $x_{ex}$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$ , в колонну и выходе,  $x_{вых}$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$ , из нее по формуле

$$E = \frac{x_{вых} - x_{ex}}{x_{100} - x_{ex}}, \quad (3)$$

где  $x_{100}$  – абсолютная влажность воздуха, насыщенного водяным паром,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Полученные зависимости величины эффективности тарелки от фактора скорости газа и интенсивности орошения тарелки для различных вариантов конструктивного исполнения колпачка тарелки приведены на рисунках 7–10.

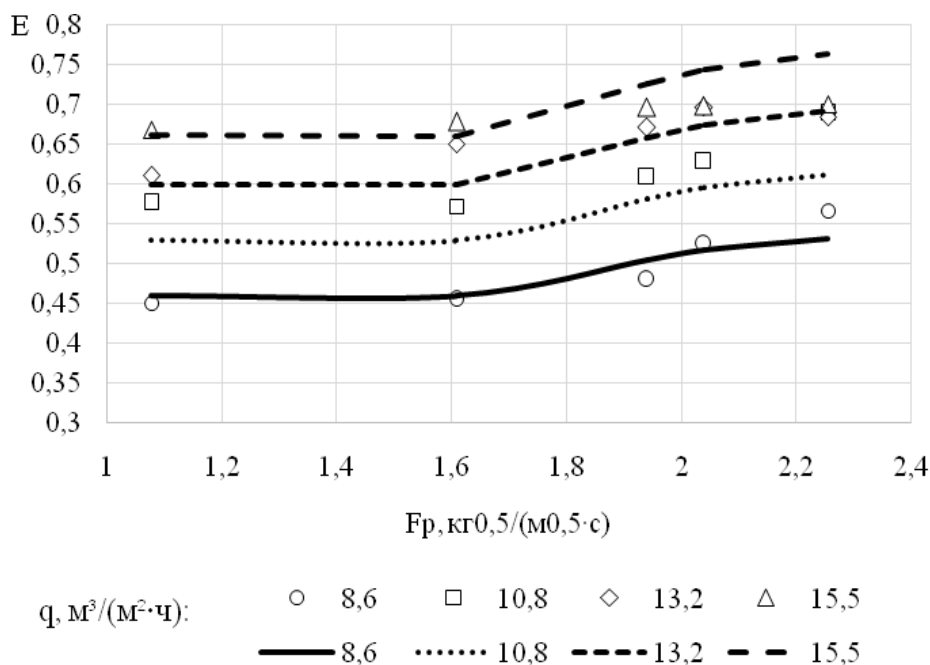


Рисунок 7 – Результаты экспериментальных исследований при насыщении воздуха влагой (длинный колпачок, перфорация колпачка 2 мм)

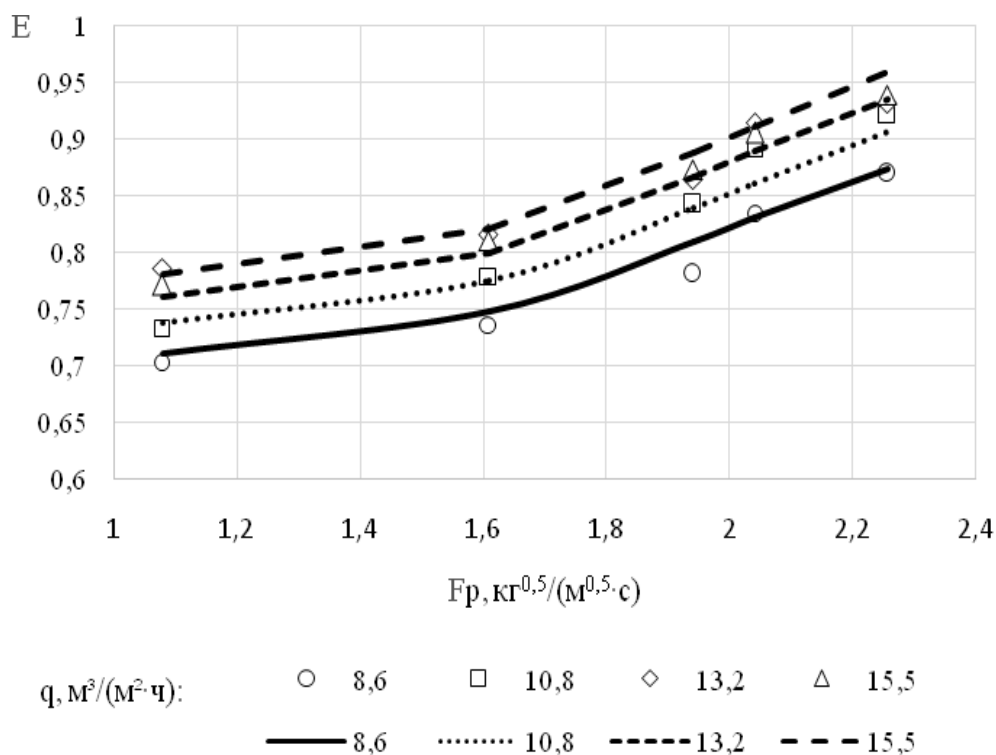


Рисунок 8– Результаты экспериментальных исследований при насыщении воздуха влагой (длинный колпачок, перфорация колпачка 3 мм)

Анализируя экспериментальные значения эффективности по газу тарелки новой конструкции, было установлено, что плотность орошения тарелки  $q$  значительно влияет на величину эффективности тарелки. С увеличением значения плотности орошения тарелки наблюдался рост эффективности тарелки.

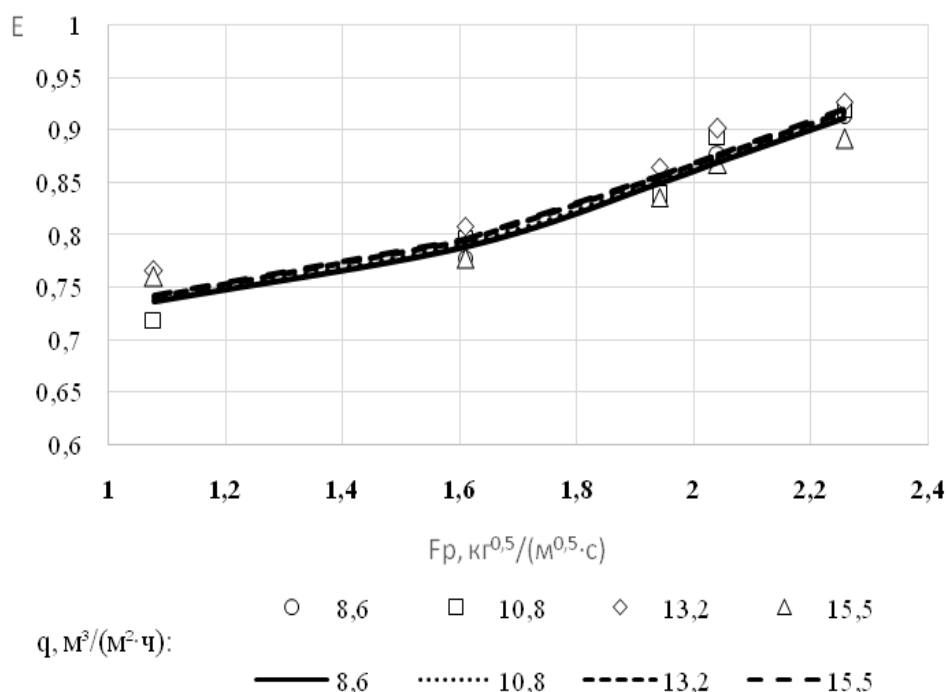


Рисунок 9 – Результаты экспериментальных исследований при насыщении воздуха влагой (короткий колпачок, перфорация колпачка 2 мм)

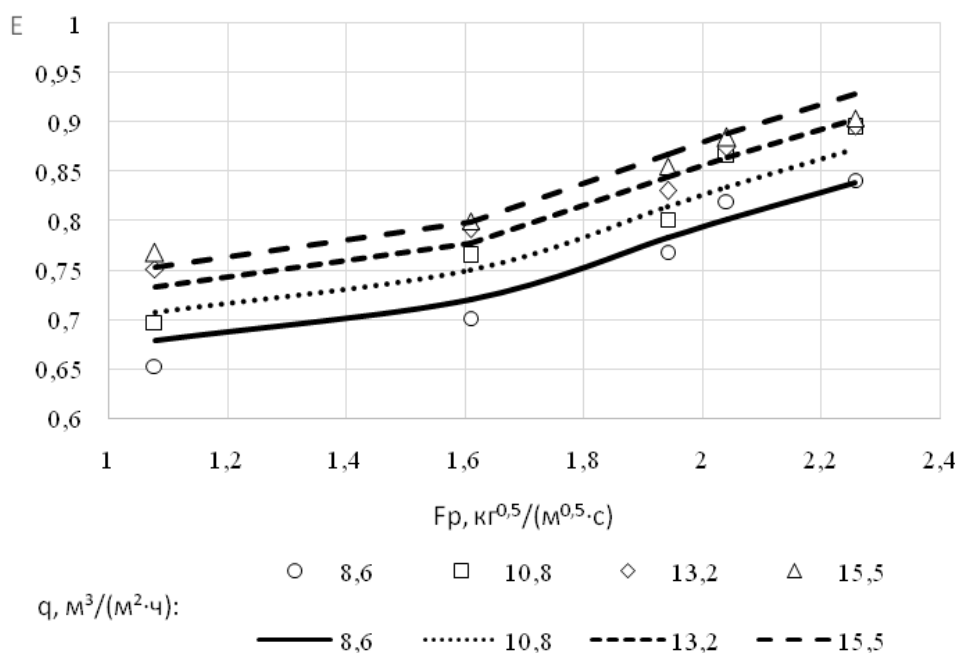


Рисунок 10 – Результаты экспериментальных исследований при насыщении воздуха влагой (короткий колпачок, перфорация колпачка 3 мм)

Диапазон устойчивой работы усовершенствованной клапанной тарелки наблюдается при факторе скорости газа  $Fr$  от 1,08 до 2,3  $кг^{0,5}/(м^{0,5} \cdot с)$ . При этом на тарелке возникает газо-жидкостная дисперсная система – пена, что соответствует пенному режиму работы тарелки. В указанном режиме контактирование газа и жидкости происходит на поверхности



пузырьков и струй газа, а также на поверхности капель жидкости, которые в большом количестве образуются над барботажным слоем при выходе пузырьков газа из барботажного слоя и разрушении их оболочек. В пенном режиме поверхность контакта фаз на тарелке максимальна.

### **Заключение**

В результате проведенных исследований выявлено существенное влияние фактора скорости газа  $F_p$  на величину эффективности тарелки. С ростом фактора скорости газа эффективность тарелки увеличивается за счет увеличения поверхности контакта фаз. Естественно, что с ростом скорости газа увеличивается и унос жидкости. Однако его значения остаются в приемлемом диапазоне, которые значительно ниже расчётных результатов. Результаты исследований показывают высокие значения эффективности тарелки новой конструкции. Эффективность разработанной клапанной тарелки достигает 94 % при насыщении воздуха влагой, в то время как эффективность стандартной клапанной тарелки не превышает 88 % [4, с.258, рис.П-22].

### **Литература**

- 1 Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки: справочник / под ред. Судакова, Е.Н. – М.: Химия, 1989. – 568 с.
- 2 Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – ООО ТИД «Альянс», 2005. – 753 с.
- 3 Судаков, Е.Н. Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки / Е.Н. Судаков. – М.: Химия, 1979. – 569 с.
- 4 Скобло А.И., Молоканов Ю.К., Владимиров А.И., Щелкунов В.А. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии: учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. – 677 с.

*Поступила в редакцию 11.08.2016*