

изменении объемов выхода гранулята сколько-нибудь заметных изменений физико-механических свойств продукта не наблюдается.

В целом результаты выполненных исследований показали, что одним из путей увеличения производительности установок гранулирования мелкозернистого галургического хлористого калия является повышение температуры прессования, по меньшей мере, до 140–145 °С. При этом в процессе исследования была выявлена серьезная техническая проблема, ограничивающая возможность непосредственного внедрения режима повышенных температур прессования в технологический процесс, а именно – при температурах прессования свыше 130 °С происходит очень заметная интенсификация адгезионного взаимодействия солей хлористого калия и рабочих поверхностей валков. Достаточно быстро формирующие элементы на рабочих поверхностях валков заполняются налипшим прессуемым материалом. Валки становятся практически гладкими, покрытыми слоем припекшейся соли. Соответственно снижается производительность пресса. Поэтому для решения проблемы налипания материала на валки было предложено заменить существующие установки прессования на модернизированные, оборудованные охлаждаемыми валками, конструкция которых разработана автором совместно со специалистами ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кочетков, В. Н. Гранулирование минеральных удобрений / В. Н. Кочетков. – М., Химия, 1975. – 224 с.
2. Кувшинников, И. М. Минеральные удобрения и соли: Свойства и способы их улучшения. – М., Химия, 1987. – 256 с.
3. Классен, П. В. Гранулирование / П. В. Классен, И. Г. Гришаев, И. П. Шомин. – М., «Химия», 1991. – 240 с.

УДК 66.021.3

**Мытько Д.Ю., Вайтехович П.Е.**

(Белорусский государственный технологический университет)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ОТНОСИТЕЛЬНОГО БРЫЗГОУНОСА В МАССООБМЕННОЙ КОЛОННЕ С РЕГУЛЯРНО-СТРУКТУРИРОВАННОЙ НАСАДКОЙ**

Брызгоунос из массообменных аппаратов, в особенности в нефтепереработке, является нежелательным явлением. Он загрязняет целевой газообразный (паровой) продукт на выходе из аппаратов. Для снижения

уноса после массообменных аппаратов устанавливают крупногабаритные сепараторы. Для их расчета с целью уменьшения габаритов и снижения металлоемкости необходимы данные по уносу капельной жидкости из массообменных аппаратов. В этой связи разработка и внедрение любого контактного устройства требует проведения исследований по определению величины брызгоуноса. Это в полной мере относится и к регулярно структурированной насадке, являющейся объектом наших исследований.

Для выполнения этого этапа нами были проведены сравнительные исследования нескольких типов насадок, определены их гидродинамические и массообменные характеристики [1, 2]. На основе этих исследований выбран оптимальный тип насадки, выполненной в виде концентрических коаксиально-расположенных цилиндров, между которыми установлены зигзагообразные перегородки с образованием контактных каналов треугольного сечения. Такая насадка условно была названа зигзагообразной. Комплекс исследований, проведенных ранее, позволил определить рациональный размер этих каналов, характеризующийся стороной треугольника  $15 \div 20$  мм [3]. Единственным параметром, не вошедшим в сферу исследований, остался унос жидкой фазы из насадочного аппарата. Поэтому задачей работы является – установление закономерностей изменения уноса жидкой фазы из слоя регулярно структурированной насадки нового типа.

Для выполнения поставленной задачи, было сконструировано и изготовлено на 3D-принтере по три вида зигзагообразной насадки с длиной стороны ячейки канала 12 мм, 17 мм, 22 мм. Далее будем использовать их следующие условные обозначения: 3-12; 3-17; 3-22 [3]. Основные пакеты насадки высотой 300 мм были набраны из трех равных секций. Для определения количества унесенной жидкости на расстоянии 500 мм над насадкой устанавливался гравитационный сепаратор с отбойником. В дополнительной серии опытов в структуру насадки вносилось два изменения. Первое заключалось в том, что отдельные ее секции раздвигались с образованием между ними дополнительного сепарационного пространства высотой 40 мм, а второе отличалось уменьшением общей зоны сепарации до 400 мм.

Варьируемыми параметрами в процессе экспериментов являлись скорость газа и плотность орошения, значения которой  $q$ ,  $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$  задавались:  $3 \cdot 10^{-3}$ ;  $3,6 \cdot 10^{-3}$  и  $4,3 \cdot 10^{-3}$ .

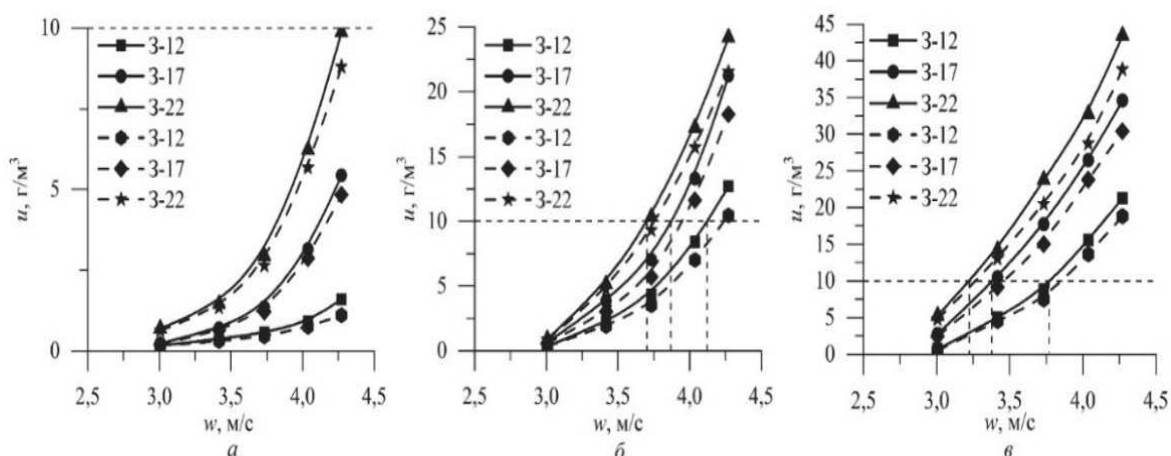
Относительная величина брызгоуноса  $u$ ,  $\text{г}/\text{м}^3$  определяется по формуле [4]:

$$u = \frac{m}{\tau \cdot V}$$

где  $m$  – масса жидкости, уловленная сепаратором, г;  $\tau$  – время, с;  $V$  – объемный расход газа,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Часто при исследовании уноса вводится его максимально допустимая величина. Например, для тарельчатых массообменных аппаратов межтарельчатый унос допускается до 10%. С учетом того, что в литературе по изучению регулярно-структурированных насадок не указан предел по допустимому уносу из насадочного аппарата, на наш взгляд в указанных аппаратах можно ограничиться однопроцентным уносом, как граничным для верхнего предела устойчивой работы по скорости газа [4].

На рисунке 1 представлены графические зависимости изменения относительного брызгоуноса жидкости  $u$ , г/м<sup>3</sup> из массообменного аппарата с блоком зигзагообразной регулярно-структурированной насадки от средней скорости газа в колонне  $w$ , м/с. Сплошной линией обозначена зависимость для цельного блока, штриховой – для пакета с дополнительным сепарационным пространством.



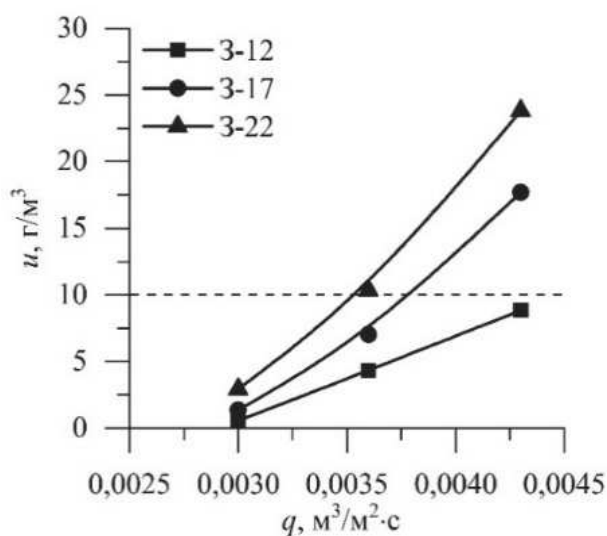
**Рисунок 1 – Относительный брызгоунос жидкости при трех плотностях орошения (при  $H = 500$  мм):**  
 а –  $3 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·с; б –  $3,6 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·с; в –  $4,6 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·с

Из рисунка 1 (а, б, в) видно, что величина относительного брызгоуноса возрастает с увеличением средней скорости газа в колонне. Причем для всех вариантов насадки его изменение описывается степенной функцией. При уменьшении размера ячейки унос снижается. Объяснение этому может быть дано только после детального изучения пленочного течения жидкости в каналах насадки, которое намечается провести в ближайшей перспективе. Установка насадки с дополнительным сепарационным пространством способствует уменьшению уноса, но не очень значительно.

Максимальная величина брызгоуноса  $10 \text{ г/м}^3 = 0,01 \text{ м}^3/\text{м}^3$  или 1% не была достигнута при  $q = 3 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> с (рисунок 1 а) для всех вариантов насадок. Однако с увеличением плотности орошения (рисунок 1 б, в),

она была значительно превышена. По зависимостям на рисунке 1 (б, в), можно определить максимальные рабочие скорости газа в колонне. Для 3-12 (рисунок 1 б) она равна 4,2 м/с, для 3-17 и 3-22 – 4,0 м/с и 3,7 м/с соответственно. При максимальной плотности орошения (рисунок 1 в) скорости будут равны 3,75 м/с для 3-12, 3,4 м/с для 3-17 и 3,2 м/с для 3-22.

Для большей наглядности на рисунке 2 представлены графические зависимости изменения относительного уноса в массообменной колонне со сплошным блоком насадок от плотности орошения, при одной скорости газа в колонне 3,5 м/с.



**Рисунок 2 – Изменение относительного брызгоуноса от плотности орошения ( $H = 500$  мм)**

Здесь четко видно, что с увеличением плотности орошения величина относительного брызгоуноса возрастает. Причем это изменение происходит почти линейно.

На рисунке 3 представлены графические зависимости изменения относительного брызгоуноса жидкости  $u$ ,  $\text{г}/\text{м}^3$  из массообменного аппарата с цельным блоком регулярно-структурированной насадки от средней скорости газа  $w$ , м/с, при плотности орошения  $3,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ . Сплошной линией обозначена зависимость для блока с высотой зоны сепарации 500 мм, пунктирной – 400 мм.

Из рисунка 3 видно, что при изменении сепарационного пространства над сплошным блоком насадок с 500 до 400 мм величина относительного брызгоуноса возрастает.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что повышение плотности орошения ведет к увеличению уноса. Рекомендуется работать на 80% от максимальной рабочей скорости для снижения выбросов.

Наиболее предпочтительный размер стороны ячеистого канала зигзагообразной регулярно-структурированной насадки для снижения количества уносимой жидкости из аппарата равен 12 мм.

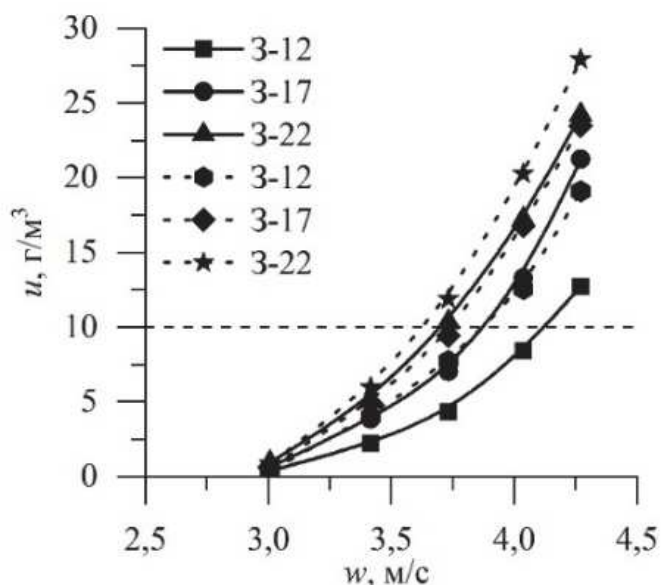


Рисунок 3 – Относительный брызгоунос жидкости при плотности орошения  $3,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$

Результаты работы могут быть использованы в области химической и нефтехимической промышленности на предприятиях Республики Беларусь (ОАО «Нафтан», Мозырьский нефтеперерабатывающий завод, ОАО «Гродно Азот» и т.д.).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вайтехович П. Е., Мытько Д. Ю. Сравнительный анализ эффективности регулярных насадок для массообменных аппаратов, Труды БГТУ, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2020. № 2. – С. 44–49.

2. Мытько Д. Ю., Вайтехович П. Е. Гидравлическое сопротивление регулярных насадок массообменных аппаратов, Вестник Полоцкого государственного университета, Строительство, Прикладные науки. – 2020. – № 8. – С. 33–38.

3. Мытько Д. Ю., Вайтехович П. Е. Гидродинамика и эффективность регулярно-структурированных зигзагообразных насадок, Химическая технология и техника: материалы 85-й науч.-техн. конф. профес.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск. – 2021. – С. 56–58.

4. Рамм, В.М. Абсорбция газов. Москва: Химия. – 1976. – 656 с.