

**МОДЕРНИЗАЦИЯ КОЛОННЫ СИНТЕЗА В ПРОИЗВОДСТВЕ КАРБАМИДА****Рогошина С.В.***г. Череповец, БПОУ ВО «ЧХТК»**Научный руководитель: Ерофеева Т.Н., г. Череповец, БПОУ ВО «ЧХТК»*

Данная статья является реферативным изложением основной работы. Полный текст научной работы, приложения, иллюстрации и иные дополнительные материалы доступны на сайте II Международного конкурса научно-исследовательских и творческих работ учащихся «Старт в науке» по ссылке: <https://www.school-science.ru/2017/16/27370>.

Мочевина (карбамид) – химическое соединение, диамид угольной кислоты. Белые кристаллы, растворимые в полярных растворителях.

Ежегодное производство мочевины в мире составляет примерно 100 миллионов тонн. Одна из характерных черт мировой экономики в последние 2-3 десятилетия – интенсификация сельскохозяйственного производства, чему в немалой степени способствует все более широкое применение минеральных удобрений. За последние 25 лет средняя концентрация питательных веществ в удобрениях повысилась на 5-11%.

Карбамид используют в промышленности, транспорте и здравоохранении в фармацевтической промышленности для приготовления успокаивающих и снотворных. Его используют при изготовлении дезинфицирующих средств, в качестве смягчителя, в производстве косметических кремов.

Целью работы является разработка технических решений по модернизации колонны синтеза карбамида.

Для решения данной цели необходимо выполнить ряд задач:

1. Анализировать научно-техническую литературу (новые направления развития науки и техники в области химической технологии неорганических веществ, журналы, статьи, патентная документация);

2. Описать технологическую схему отделения синтеза;

3. Рассчитать материальные и тепловые потоки колонны синтеза карбамида;

4. Провести технико-экономическое обоснование модернизации.

Объектом исследования является узел синтеза карбамида.

Качественные характеристики:

- снизить энергоемкость колонны синтеза карбамида;

- снизить коррозионную активность;

- снизить затраты на обслуживание и ремонт оборудования;

- увеличить срок службы аппарата.

Технологическая часть

**Описание технологической схемы**

Синтез карбамида из аммиака и диоксида углерода осуществляется в контуре высокого давления при давлении 13,3÷14,5 МПа. Аппаратурное оформление узла включает в себя конденсатор ВД Е-202, колонну синтеза R-201, стриппер Е-201 и скруббер ВД Е-203. Внутренняя часть аппаратов контура ВД, которая непосредственно контактирует с реакционной массой, изготовлена из высоколегированной стали.

Массовая доля компонентов, содержащихся в реакционной массе, поступающей из колонны синтеза R-201 в верхнюю часть стриппера Е-201, составляет: карбамид – не менее 31%, диоксид углерода – не более 20%, аммиак – не менее 29%, вода – не более 20%.

Стриппер Е-201 представляет собой вертикальный, кожухотрубный теплообменник пленочного типа. В верхней части стриппера Е-201 имеется распределительное устройство, обеспечивающее пленочный характер движения жидкости по трубкам. Аппарат работает по принципу противотока: жидкая фаза тонкой пленкой стекает по трубкам вниз, а газовая фаза противотоком поднимается снизу вверх. В межтрубное пространство стриппера из сатуратора пара V-905 подается пар с давлением 1,7÷2,06 МПа.

Диоксид углерода с температурой 90÷125 °С, давлением 14,2÷15,2 МПа и массовым расходом не менее 27 т/ч подается в нижнюю часть стриппера Е-201 и поднимается по трубкам вверх, навстречу реакционной массе, поступающей из колонны синтеза R-201.

С паром, подаваемым в межтрубное пространство стриппера Е-201 через распределительный патрубок, поступает необходимое количество тепла для разложения карбамата на аммиак и диоксид углерода в токе свежего диоксида углерода. Давление греющего пара, поступающего в стриппер из сатуратора V-905, регулируется клапаном PIRC 2109 и зависит от нагрузки на установку.

Газы, образующиеся при разложении карбамата, совместно со свежим диоксидом углерода отводятся из верхней части стриппера E-201 в конденсатор ВД E-202. Раствор карбамида собирается в нижней части аппарата и через клапан регулятора уровня отводится на стадию рециркуляции.

Стриппинг-процесс ведут таким образом, чтобы массовая доля аммиака в растворе, покидающем стриппер, составляла не более 9,0%.

В конденсатор ВД E-202 через инжектор ВД J-201 подается жидкий аммиак от насосов P-102 и раствор углеаммонийных солей из скруббера ВД E-203, а также реакционная смесь из колонны синтеза R-201 (TIR 2910)). В конденсаторе E-202 поток смешивается с парогазовой фазой из стриппера E-201 с образованием карбамата. Конденсатор ВД E-202 – вертикальный цилиндрический кожухотрубный теплообменник. В верхней части аппарата имеется смешительная камера исходных компонентов.

Процесс конденсации ведется таким образом, чтобы определенная часть исходных компонентов (аммиака и диоксида углерода) не сконденсировалась в конденсаторе E-202. Эта часть свободного аммиака и диоксида углерода превращается в карбамат в колонне синтеза, компенсируя эндотермичность реакции образования карбамида и поддерживая температурный режим в колонне синтеза в пределах 180÷185 °С.

Образовавшийся карбамат и несконденсированные аммиак с диоксидом углерода из нижней части конденсатора E-202 с температурой 168÷175 °С поступают в колонну синтеза R-201.

Колонна синтеза R-201 представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат. Реакционная смесь подводится в колонну R-201 снизу и отводится через переливную воронку из верхней части колонны.

Для улучшения гидродинамического режима колонна синтеза по высоте оборудована 10-ю ситчатыми тарелками и в нижней части распределительным устройством, что увеличивает степень контакта жидкой и газовой фазы. Таким образом, колонна синтеза работает в режиме реактора идеального вытеснения, а каждая из тарелок – в режиме идеального смешивания.

За время прохождения реакционной смеси через колонну R-201 в течение одного часа при давлении 13,3÷14,5 МПа, температуре 180÷185 °С и мольном соотношении (2,7÷3,4):1 = NH<sub>3</sub>:CO<sub>2</sub> в газовой фазе и (2,9÷3,1):1:0,45 = NH<sub>3</sub>:CO<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>O в жидкой фазе, происходит превращение карбамата аммония в карбамид. Степень конверсии диоксида углерода в карбамид составляет 55÷60%.

Повышение давления в системе синтеза более 14,5 МПа сигнализируется в ЦПУ. Инерты, непрореагировавшие аммиак и диоксид углерода из верхней части колонны синтеза отводятся в скруббер ВД (поз. E-203).

Скруббер ВД E-203 состоит из теплообменной и сепарирующей части. В сепарирующей части происходит разделение реакционной смеси, поступающей из колонны синтеза. Теплообменная часть оборудована центральной трубой, по которой обеспечивается циркуляция раствора в трубном пространстве и тем самым повышается эффективность теплообмена. В сепарирующей части скруббера E-203 установлена взрывная предохранительная мембрана.

В скруббере ВД E-203 газовая фаза из колонны R-201, смешиваясь с раствором углеаммонийных солей (УАС) от карбаматных насосов ВД (поз. P-301) частично конденсируются и поглощаются карбаматом.

Нормальную работу скруббера обеспечивает циркуляция конденсата с температурой на входе в скруббер E-203 не менее 100 °С и перепадом температур по выходу и входу конденсата не менее 80 °С.

Газовая фаза из сепарирующей части скруббера E-203 отводится в абсорбер C-701, а раствор УАС, с температурой 158÷168 °С по переливу поступает в инжектор ВД J-201 и далее в конденсатор ВД E-202 [5].

### Технологические расчеты

Расчет материального и теплового балансов проводим согласно [1, 6].

Целью материального расчёта является определение состава продуктов на выходе из колонны синтеза, теплового баланса – определение прихода и расхода теплоты.

Условие материального баланса

$$\sum M_{\text{прих}} = \sum M_{\text{расх}}$$

Уравнение материального баланса имеет следующий вид

$$M_1 + M_2 + M_3 = M_4 + M_5 + M_6 + M_7.$$

Условие теплового баланса

$$\sum Q_{\text{прих}} = \sum Q_{\text{расх}}$$

Уравнение теплового баланса имеет следующий вид

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10} + Q_{\text{пот}}$$

### Расчет экономической эффективности проекта

Целью технико-экономического анализа модернизации колонны синтеза карбамида

являются качественные и количественные доказательства экономической целесообразности разработки, а также определение организационно-экономических условий её эффективного функционирования.

Капиталовложения, связанные с модернизацией аппаратов высокого давления, являются затратами потребителя.

Стоимость (цена) приобретения материалов и комплектующих на модернизацию, транспортные расходы по их доставке, стоимость произведённых строительно-монтажных работ на месте эксплуатации учитываются в стоимости основного средства.

При определении капитальных затрат на модернизацию оборудования, следует учесть балансовую стоимость, затраты на демонтаж узлов, направления использования демонтированных узлов и деталей.

К накладным расходам относят: затраты на электроэнергию, затраты на управление производством и его обслуживание, затраты на социально бытовые нужды и прочие.

Срок окупаемости с учётом факторного времени – показатель, характеризующий продолжительность периода, в течение которого сумма чистых доходов, дисконтированных на момент завершения инвестиций, равной сумме инвестиций.

$$T_{ок} = \frac{I}{\Delta P},$$

где  $I$  – инвестиции руб;

$\Delta P$  – увеличение прибыли после модернизации.

$$T_{ок} = \frac{27485387,32}{8510848,20} = 0,33 \text{ года.}$$

### Заключение

Проведённый обзор научно-технической литературы показал, что основным и очень дорогостоящим аппаратом в производстве карбамида является колонна синтеза, поэтому ее техническое и коррозион-

ное состояние определяют эффективность и бесперебойность работы агрегата.

Модернизация для действующей колонны синтеза карбамида предлагает вариант без изменения технологии синтеза, с использованием существующего оборудования и сохранением производительности аппарата.

Она даёт возможность для предпочтительного раздельного протекания газообразной и жидкой фаз и их последующего оптимального перемешивания друг с другом. Позволяет сократить рециркуляцию непрореагировавших продуктов на 7-10 % при значительном увеличении производительности колонны синтеза и снижении затрат энергии на установке для производства карбамида. Преимущества данной модернизации достигаются при небольших дополнительных затратах за счёт установки колпачков на существующем оборудовании.

В ходе выполнения работы был произведен расчёт материального баланса колонны, в результате получены следующие данные: количество продукта на выходе из колонны составляет  $G_{прих} = 198239,01$  кг. Произведя расчёт теплового баланса получили количество теплоты на входе в колонны  $Q_{прих} = 265233,16$  МДж и количество теплоты на выходе из колонны синтеза карбамида  $Q_{расх} = 262266,26$  МДж.

Проведенные экономические расчёты показали, что в результате модернизации колонны синтеза карбамида с помощью изготовления и установления на ситчатых тарелках «колпачков» приведёт к снижению затрат за счет уменьшения затрат на фонд оплаты труда, затрат на электроэнергию, обслуживание и ремонт оборудования. Таким образом, цель, поставленная в работе выполнена, все коэффициенты подтверждают высокую рентабельность и целесообразность данного мероприятия.