

ПРОИЗВОДСТВО КАРБАМИДА ПО СТРИППИНГ-ПРОЦЕССУ

В.А. Ермолаева, канд. хим. наук, доцент

А.Р. Лукмазова, студент

Муромский институт Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
(Россия, г. Муром)

DOI:10.24412/2500-1000-2024-3-4-206-210

Аннотация. В представленной статье рассматривается производство карбамида по стриппинг-процессу. Дана характеристика готового продукта – карбамида. Рассмотрен технологический процесс производства карбамида по стриппинг-процессу. Произведен расчет материального баланса основных стадий производства: колонны синтеза, стриппинг-дистиллятора и ректификационной колонны. Рассчитано количество образующегося карбамида до момента выпаривания раствора. Результаты расчета представлены в сводных таблицах. Так же было произведено моделирование основного аппарата данного производства.

Ключевые слова: карбамид, синтез, стриппинг-процесс, производство карбамида, моделирование колонны синтеза.

Карбамид применяются в сельском хозяйстве в качестве азотного удобрения и как составляющая кормовых добавок в животноводстве, а также в промышленности.

В последние годы начал широко применяться стриппинг-процесс, который заключается в том, что разложение карбамата аммония в растворе после колонны синтеза ведут при давлении, близком к давлению на ступени синтеза, продувкой плава сжатым диоксидом углерода.

Этот процесс отличается использованием тепла образования карбамата и более низкими расходами энергии. В азотной промышленности стриппинг-процесс применяется в агрегатах большой единичной мощности – от 1500 до 2800 тонн в сутки.

Характеристика готового продукта – карбамида

Карбамид - диамид угольной кислоты, называемый так же мочевиной, в чистом виде представляет собой бесцветные, не имеющие запаха кристаллы. Технический продукт - белые и желтоватые кристаллы. Широко применяются в сельском хозяйстве в качестве азотного удобрения и как составляющая кормовых добавок в животноводстве, а так же в промышленности. Хорошо растворяется в воде, в спирте, жидком аммиаке. Взаимодействуют с кис-

лотами, образует солеобразные соединения.

Химические свойства карбамида обуславливают широкое его применение в химической промышленности в синтезе карбамидо-альдегидных (в первую очередь карбамидо-формальдегидных) смол, широко используемых в качестве адгезивов, в производстве древесно-волоконных плит (ДВП) и мебельном производстве. Производные мочевины - эффективные гербициды

При нагревании до 150-160°C карбамид разлагается с образованием биуретана, аммиака, углекислого газа и др. продуктов. В водном растворе гидролизует до CO₂ и NH₃. Относительная молекулярная масса 60,05 а.е.м. Удельная теплота растворения в воде 242,2 Дж/д, температура плавления при атмосферном давлении 132,7°C, удельная температура плавления 242,2 Дж/г, температура самовоспламенения 715°C. Карбамид хорошо растворим в воде. С повышением температуры его растворимость увеличивается.

Анализ технологического производства

Синтез карбамида осуществляется в контуре высокого давления при температуре 453-463 К, мольном соотношении NH₃ : CO₂ = (2,7-3,4) : 1 и давления 13,3-

14,2 МПа. Аппаратурное оформление узла: конденсатор высокого давления, колонна синтеза, стриппинг-дистиллятор и скруббер [1].

Аммиак после цеха производства NH_3 проходит фильтр для очистки от посторонних примесей, подогреватель аммиака и с помощью эжектора сжимается и направляется в конденсатор. Оксид углерода (IV) поступает в цех производства карбамида и проходит очистку в сепараторе, а затем сжимается в трубокомпрессоре и поршневом компрессоре и подается в стриппинг-дистиллятор. Затем углекислый газ направляется в конденсатор, где смешивается с углеаммонийными солями (УАС), поступающими после скруббера, и с аммиаком. Полученная газо-жидкостная смесь направляется в колонну синтеза карбамида для его получения.

Реакционная масса из колонны синтеза (содержит не менее 30 мас. % карбамида, карбамата аммония, свободного аммиака и воду) подается в вертикальную часть стриппера, в которой протекает реакция разложения карбамата аммония на карбамид. Газы, образующиеся при разложении карбамата (NH_3 и CO_2), отводятся в конденсатор с помощью углекислым газом с температурой 363-408 К, затем направляются в колонну синтеза, где проявляют инертность по отношению к поступающим газам и направляются в скруббер. Раствор карбамида направляется в колонну ректификации для дальнейшей его обработки [2].

Поступившие инертные газы NH_3 и CO_2 в скруббер поглощаются раствором углеаммонийных солей. Не уловленный аммиак с оксидом углерода (IV) с сепарационной части аппарата дросселируются и направляются в абсорбер для улавливания аммиака. Полученный раствор углеаммонийных солей через эжектор поступает в конденсатор для дальнейшего его использования в синтезе.

Плав карбамида, содержащий целевой продукт (карбамид) и побочные продукты (карбамат аммония, избыточный аммиак и воду), из стриппинг-дистиллятора дросселируется до давления 0,25-0,35 МПа и подается в колонну ректификации, состоя-

щую из подогревателя, сепаратора и массообменного аппарата.

Газо-жидкостная смесь после слоя насадки массообменного аппарата отходит в подогреватель, в котором происходит окончательное разложение карбамата. Выделение образованных NH_3 , CO_2 и паров воды осуществляется в сепараторе колонны ректификации (в средней части). Раствор карбамида с температурой 363-371 К и массовой долей карбамида не менее 64% отводится в сборник и затем направляется на выпарную установку.

Образующиеся газообразный аммиак, углекислый газ и вода из ректификационной колонны через верхнюю часть аппарата поступают в отделение улавливания УАС. Узел конденсирования и улавливания NH_3 и CO_2 состоит из конденсатора, скруббера, холодильника и сборника УАС. Газовая смесь после ректификации поступает в конденсатор низкого давления, где нагревается с помощью конденсата, поступающего выпарной установки. Полученная газо-жидкостная смесь направляется в сборник УАС. Не проконденсировавшийся газ улавливается в скруббере с помощью охлажденного раствора УАС, который поступает из холодильника. Для улучшения улавливания газовой фазы после ректификации, смесь проходит циркуляционную очистку в отделении улавливания УАС. Полученный раствор углеаммонийных солей возвращается в скруббер, для окончательного его улавливания.

Раствор карбамида из сборника поступает на процесс выпаривания в установку, содержащую две ступени. На I степени выпаривания раствор выпаривается при температуре 398-403 К и давлении 25-45 кПа, на второй – при температуре 408-413 К и давлении 3,5 кПа. Образующийся конденсат после выпарной установки направляется к конденсатору. Плав с массовой долей карбамида 99,7% подается в грануляционную башню.

С обогревательного напорного бака через фильтры плав идет на статические грануляторы и разбрызгивается внутри ствола башни. Снизу башни подается охлажденный воздух для охлаждения плава карбамида. За время полета с высоты 90-93 м к

аппарату охлаждения с «кипящим слоем» капли плава карбамида застывают в гранулы при взаимодействии с воздухом, охлаждаются до температуры не более 323 К и системой конвейеров подаются на склад.

Материальный и тепловой баланс производства карбамида

Произведен практический расчет материальных балансов синтеза карбамида, стриппинг-дистиллятора и второй ступени

дистилляции (ректификационной колонны). Исходными данными послужили следующие значения: производительность 112,5 т/ч (112500 кг/ч); состав жидкого аммиака: NH_3 – 143087,625 кг/ч, H_2O – 1154,25 кг/ч; состав экспанзерного газа: CO_2 – 83768,625 кг/ч, другие газы – 1229,625 кг/ч; состав раствора УАС: NH_3 – 45715,375 кг/ч, CO_2 – 73812,65 кг/ч, H_2O – 27856,125 кг/ч.

Таблица 1. Материальный баланс колонны синтеза

Приход		Расход	
Компоненты	кг/ч	Компоненты	кг/ч
1. Жидкий аммиак		1. Раствор карбамида	
В том числе:		В том числе:	
NH_3	143087,625	карбамид	120375
H_2O	1154,25	карбамат аммония	122984,625
2. Экспанзерный газ		NH_4OH	125634,5
В том числе:		свободный NH_3	5485,5
CO_2	83768,625	другие газы	1229,625
другие газы	1229,625		
3. Раствор УАС			
В том числе:			
NH_3	45715,375		
CO_2	73812,65		
H_2O	27856,125		
Итого	376624,275	Итого	375709,25

Таблица 2. Материальный баланс стриппинг-дистиллятора

Приход		Расход	
Компоненты	кг/ч	Компоненты	кг/ч
1. Раствор карбамида		1. Плав карбамида	
В том числе:		В том числе:	
карбамид	120375	карбамид	120375
карбамат аммония	122984,625	карбамат аммония	8607,375
NH_4OH	125634,5	избыточный NH_3	3349,125
свободный NH_3	5485,5	H_2O	60617,25
другие газы	1229,625	2. Газовая фаза	
2. Экспанзерный газ		В том числе:	
В том числе:		NH_3	110137,5
CO_2	83768,625	CO_2	148272,75
др.	1229,625	пар H_2O	4509
		другие газы	2459,25
Итого	460707,5	Итого	458327,25

Таблица 3. Максимальный баланс ректификационной колонны

Приход		Расход	
Компоненты	кг/ч	Компоненты	кг/ч
1. Плав карбамида		1. Раствор карбамида	
В том числе:		В том числе:	
карбамид	120375	карбамид	115875
карбамат аммония	8607,375	H ₂ O	49952,25
изб. NH ₃	3349,125	2. Газы дистилляции	
H ₂ O	60617,25	В том числе:	
		NH ₃	9651,375
		CO ₂	8155,125
		пар H ₂ O	9045
Итого	192948,75	Итого	192678,75

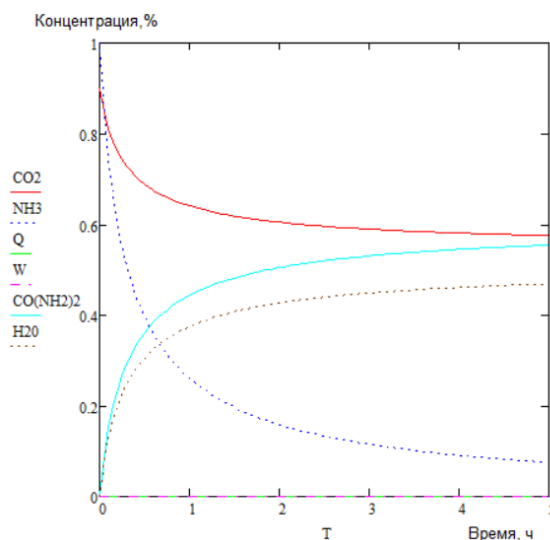
Математическое моделирование колонны синтеза карбамида

Математическая модель колонны синтеза карбамида [3] представляет собой систему уравнений: уравнение расхода аммиака и

углекислого газа, уравнение получения карбамата аммония (промежуточного продукта) и уравнение получения карбамида (целевого продукта).

$$L(t, C) = \begin{cases} \frac{dC_A}{dt} = -s \cdot C_A \cdot C_B^2 + (-k_1 \cdot C_A \cdot C_B^2) \\ \frac{dC_B}{dt} = -s \cdot C_A \cdot C_B^2 + (-k_2 \cdot C_A \cdot C_B^2) \\ \frac{dC_Q}{dt} = s \cdot (C_A \cdot C_B^2 - C_Q) \\ \frac{dC_W}{dt} = s \cdot (C_A \cdot C_B^2 - C_W) \\ \frac{dC_E}{dt} = s \cdot C_Q + k_3 \cdot C_A \cdot C_B^2 \\ \frac{dC_V}{dt} = s \cdot C_W + k_4 \cdot C_A \cdot C_B^2 \end{cases},$$

По системе уравнений строится модель колонны синтеза карбамида [4].



Рисунок

По полученному рисунку можно сделать вывод, что образование целевого продукта (карбамида) происходит примерно в районе 50-59%, а побочного продукта (во-

ды) в районе 40-50%. Для более точного нахождения полученных значений выведем конечные точки образовавшихся веществ на экран.

$$\text{CO}(\text{NH}_2)_2_{100} = 0.554$$

$$\text{H}_2\text{O}_{100} = 0.469$$

Полученные значения удовлетворяют нашим условиям.

Заключение

Производство карбамида по стриппинг-процессу, является важным аспектом отрасли минеральных удобрений. Рассчи-

танные материальные балансы и моделирование колонны синтеза позволяют оценить материальные затраты и работу основного аппарата, используемых для обеспечения заданной производительности и эффективности производства.

Библиографический список

1. Кучерявый В.И., Лебедев В.В. Синтез и применение карбамида. – Ленинград: Химия, 2012.
2. Горловский Д.М., Альтшулер Л.Н., Кучерявый В.И. Технология карбамида. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://libcats.org/book/467709>.
3. Максимова Н.Н. Моделирование в химии. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2020.
4. Гумеров А.М. Математическое моделирование химико-технологических процессов: учеб. пособие – 2-е изд. – СПб.: Лань, 2014.

PRODUCTION OF UREA BY STRIPPING PROCESS

V.A. Ermolaeva, *Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor*

A.R. Lukmazova, *Student*

**Murom Institute of the Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletov
(Russia, Murom)**

Abstract. *This article discusses the production of urea by stripping process. The characteristics of the finished product, carbamide, are given. The technological process of urea production by stripping process is considered. The calculation of the material balance of the main stages of production: the synthesis column, the stripping distiller and the distillation column. The amount of urea formed up to the moment of evaporation of the solution is calculated. The calculation results are presented in summary tables. The main apparatus of this production was also modeled.*

Keywords: *urea, synthesis, stripping process, urea production, modeling of the synthesis column.*