

торного топлива из других регионов.

После полного завершения строительства Яйского нефтеперерабатывающего завода, на предприятии будет открыто дополнительно 400 новых рабочих мест, а налоговые отчисления в бюджеты всех уровней от деятельности завода достигнут 13-14 миллиардов рублей в год. Технологическая же схема завода после реализации всех этапов строительства будет выглядеть следующим образом:

Продукция Яйского нефтеперерабатывающего, а также строящегося в Северном Кузбассе НПЗ компании «Кем-ойл» существенно снизит зависимость Кемеровской области от аналогичных продуктов, завозимых из Омской области и Красноярского края. И поэтому на сегодняшний день, по словам губернатора Кемеровской области Амана Тулеева, «можно ответственно заявлять о рождении в Кузбассе новой отрасли — нефтеперерабатывающей»[2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интервью губернатора Кемеровской области Аман Тулеев ИТАР ТАСС 25.11.2008 года - <http://www.city-n.ru/view/108141.html>
2. Яйский НПЗ обеспечит Кузбасс топливом - <http://www.yurhelp.ru/news5496.html>
3. ГОСТ 10-585-99 «Топливо нефтяное. Мазут. Технические условия» - М.: Стандартинформ, 2009 – 38 с.
4. ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009). «Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия.» М.: Стандартинформ, 2006 – 30 с.
5. ТУ 38.1011304-2004 «Вакуумный газойль. Технические условия.» М.: Стандартинформ, 2004 – 24 с.
6. ГОСТ 22898-78. «Коксы нефтяные малосернистые» М.: Стандартинформ, 1978 - 24 с.
7. ГОСТ 127-93 «Сера комовая» Минск, ИПК»Издательство стандартов», 1996 – 9 с.
8. ГОСТ 51866-2002 (ЕН 228:2004) «Топлива моторные. Бензин неэтилированный» М: ИПК «Издательство стандартов», 2002 – 29 с.
9. ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009). «Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия» М: Стандартинформ, 2005 – 34 с.

Авторы статьи

Черкасова
Татьяна Григорьевна
д.х.н., профессор, дир.
Института химических и
нефтегазовых технологий
КузГТУ,
e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

Колокольцов
Дмитрий Владимирович
магистрант гр. ХМоз-131.
Тел. 8-953-063-50-32

Патосин
Николай Александрович
магистрант гр. ХОмоз-131.
Тел.8-951-180-80-99

Живаев
Андрей Геннадьевич
магистрант гр. ХОмоз-131.
Тел.8-923-508-43-48

УДК 658.52.011.56

С.М. Кулаков, Д.В. Торопов

ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА АММИАКА В ТРЕХПОЛОЧНОЙ КОЛОННЕ

В процессе формирования и выбора управляющих воздействий важную роль имеет алгоритм оценки их эффективности. Для таких химических аппаратов, как колонна синтеза аммиака, это представляет отдельную задачу, так как в ее структуру входит несколько катализаторных полок, через которые проходят различные объемы циркуляционного газа, отличающиеся по своему составу. Для оптимизации технологического процесса в режиме реального времени необходимо оперативно контролировать производительность, как каждой отдельной катализаторной полки, так и всего аппарата в целом [1]. На данный момент газоанализаторы, применяемые на производстве для контроля состава циркуляционного газа, имеют низкую точность. Высокоточные приборы та-

кого рода являются дорогостоящими, и зачастую имеют длительный срок окупаемости. Ниже представлен один из возможных способов оценки производительности колонны синтеза аммиака и ее элементов на примере трехполочной колонны синтеза аммиака, построенной по проекту фирмы «Ammonia Casale»[2], находящейся в эксплуатации на производственной площадке КОАО «Азот».

В количественном выражении производительность колонны синтеза [3]:

$$G_{NH_3} = \rho \cdot F_{вх} \cdot \alpha \cdot \sigma, \text{ [кг/ч]} \quad (1)$$

где $\rho = 0,773 \text{ кг/м}^3$ – плотность аммиака при н.у.; $F_{вх}$ – расход синтез газа в колонну синтеза аммиака ($\text{м}^3/\text{ч}$), $\alpha = \frac{x_{вых} - x_{вх}}{1 + x_{вх}}$ – коэффициент, отра-

жающий количество аммиака образовавшегося в колонне; $\sigma = \frac{1 + x_{\text{вх}}}{1 + x_{\text{вых}}}$ – сокращение объема газовой смеси вследствие реакции синтеза; $x_{\text{вх}}$ и $x_{\text{вых}}$ – соответственно мольные доли аммиака на входе и выходе с колонны синтеза.

Недостатком существующей системы управления является низкая точность автоматического анализатора, измеряющего долю аммиака в потоке газа выходящего из колонны синтеза. Технологический персонал использует данные, получаемые

лабораторией аналитического контроля, проводимые два раза за сутки, в связи с чем, нет возможности оперативно оценить эффективность реализованных управляющих воздействий. Оценивать производительность колонны синтеза по расходу аммиака со всего агрегата на склад можно только при низких нагрузках, что вызвано ограничениями, накладываемыми вспомогательным оборудованием, осуществляющим функции по отделению аммиака из газа путем его конденсации.

Конденсация аммиака из циркуляционного газа в рассматриваемой технологической схеме

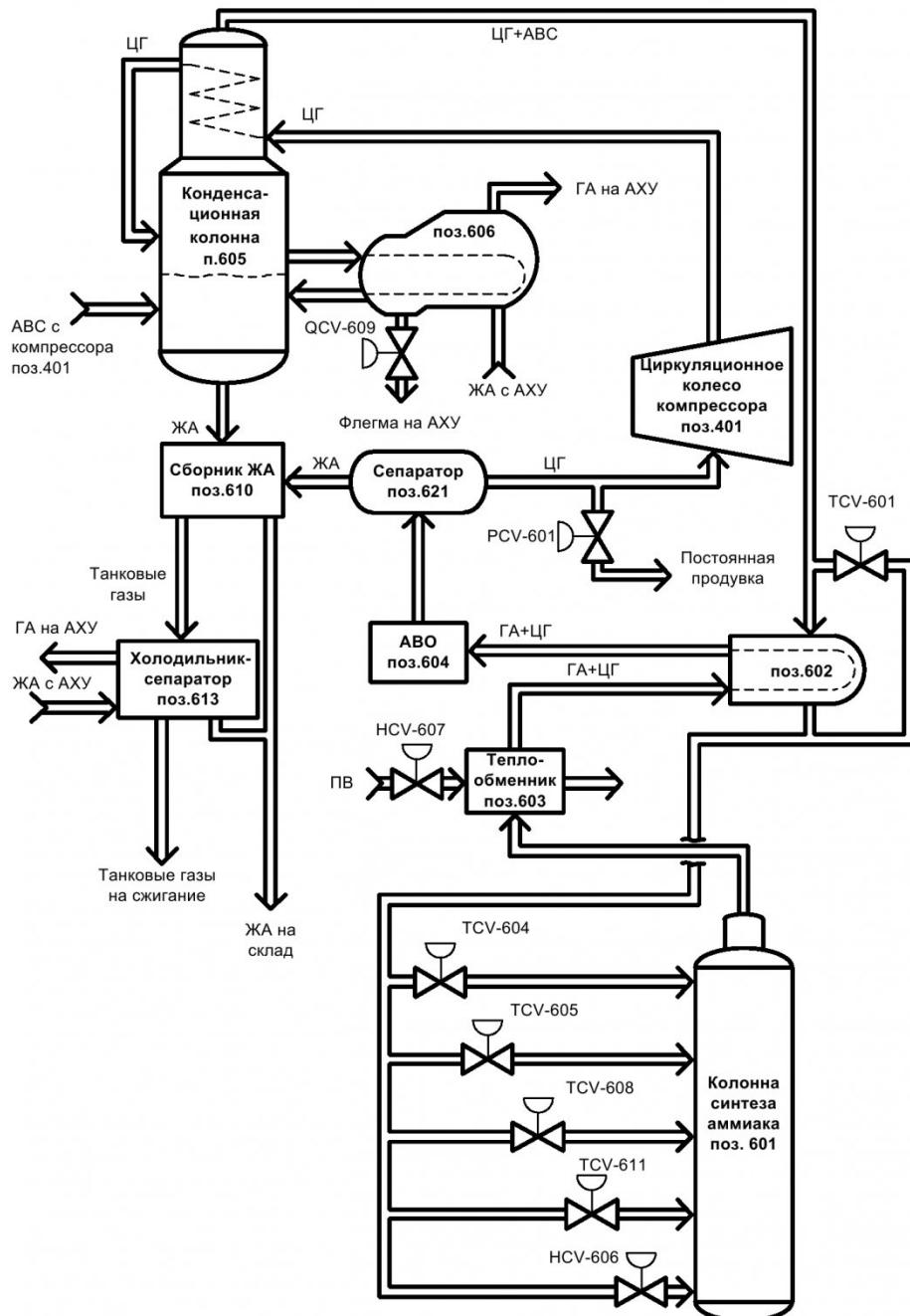


Рис. 1. Распределение потоков и управляющие воздействия стадии синтеза аммиака (ЖА – жидкий аммиак, ГА – газообразный аммиак, ЦГ – циркуляционный газ, ABC – азотоводородная смесь, АХУ – аммиачные холодильные установки, ПВ – питательная вода)

(рис.1) проводится в три этапа: первичная конденсация осуществляется в аппарате воздушного охлаждения (АВО) поз. 604; вторичная конденсация происходит в трубном пространстве испарителя поз.606 за счет холода получаемого в результате кипения жидкого аммиака в межтрубном пространстве. Последний этап конденсации осуществляется в холодильнике сепараторе поз.613 по тому же принципу, что и в испарителе поз.606. Производительность холодильного оборудования в значительной мере зависит от температуры и влажности окружающего воздуха. В итоге реальная производительность колонны синтеза может значительно превышать производительность всего агрегата.

На рис.2 представлено сравнение оценок производительностей по количеству выдаваемого аммиака на склад (в изотермическое хранилище), а так же согласно уравнению (1) по данным лабораторных замеров концентрации аммиака в потоке, выходящем из колонны синтеза. Периодичность замеров – 30 минут. К данным АСУТП применено сглаживание по алгоритму скользящего среднего.

Отличия значений выработки, полученной с использованием данных лабораторного анализа и по расходу готовой продукции обусловлены потерями аммиака на производстве (постоянные продувки, сдувка инертных газов на аммиачных холодильных установках, содержащих, в том числе и аммиак) и недостаточной производительностью вспомогательного оборудования. Таким образом, использование формулы (1) для оценки эффективности работы колонны синтеза, позволяет уменьшить погрешность, вносимую работой вспомогательного оборудования.



Рис.2. Оценка производительности колонны синтеза аммиака с использованием различных методик

Из-за отсутствия непрерывных данных о количестве аммиака на выходе из колонны синтеза предлагается для оперативной оценки производительности колонны синтеза использовать косвенные методы, к одним из которых относится анализ изменения приращения температуры газа после катализаторной полки.

Как известно, реакция синтеза аммиака из азота и водорода сопровождается выделением тепла в количестве 13,4 ккал/моль. Температура газа на выходе из слоя катализатора [3]:

$$T_{\text{вых}} = \frac{Q_{\text{вых}} \cdot K_T}{F_{\text{вых}}} , [\text{°C}] \quad (2)$$

$$\frac{22,4}{22,4} \cdot C_{\text{вых}}$$

где $Q_{\text{вых}}$ – количество тепла выносимого газом (ккал), K_T – коэффициент теплопотерь, $F_{\text{вых}}$ – расход газа на выходе из катализаторной коробки ($\text{нм}^3/\text{ч}$), $C_{\text{вых}}$ – мольная теплоемкость выходящего газа (ккал/ $\text{кг}\cdot\text{моль}\cdot\text{K}^\circ$).

Количество тепла $Q_{\text{вых}}$ есть сумма тепла входящего газа $Q_{\text{вх}}$ плюс теплота реакции образования аммиака Q_p , определяемые по формуле[3]:

$$Q_{\text{вых}} = Q_{\text{вх}} + \frac{G_{\text{NH}_3}}{M_{\text{NH}_3}} \cdot H , [\text{ккал}] \quad (3)$$

где $H = 12800$ ккал/ $\text{кг}\cdot\text{моль}$ – тепловой эффект реакции, G_{NH_3} производительность определяемая по формуле (1), $M_{\text{NH}_3} = 17,03$ г/моль – молярная масса аммиака.

Зависимость расхода газа на выходе от входного значения расхода имеет вид [3]:

$$F_{\text{вых}} = F_{\text{вх}} \cdot \sigma , [\text{нм}^3/\text{ч}] \quad (4)$$

Мольная теплоемкость [3]:

$$C = \sum_{i=1}^N x_i C_i^p, \text{ ккал/кг·моль·К}^{\circ} \quad (5)$$

где x_i - мольные доли компонентов газовой смеси, C_i^p - мольные теплоемкости компонентов газовой смеси. Пренебрегая значениями концентраций примесей и взяв за основу соотношение азот : водород как 1:3, (5) можно представить как:

$$C(x) = \frac{1-x}{4} 7.56 + \frac{3(1-x)}{4} 7.2 + x \cdot 15.4, \\ \text{ккал/кг·моль·К}^{\circ} \quad (6)$$

где x - мольная доля аммиака в газе.

Подставив формулы (1, 3, 4) в уравнение (2), получим значение изменения температуры в зависимости от содержания аммиака:

$$\Delta T(T_{\text{вх}}, x_{\text{вых}}) = \\ = \left(\frac{F_{\text{ex}}}{22,4} \cdot C(x_{\text{вх}}) \cdot T_{\text{вх}} + \right. \\ \left. 0,773 \cdot F_{\text{вх}} \cdot \frac{x_{\text{вых}} - x_{\text{вх}}}{1+x_{\text{вх}}} \cdot \frac{1+x_{\text{вх}}}{1+x_{\text{вых}}} \right. \\ \left. + \frac{1}{17,03} \right) \cdot K_T / \\ \left(\frac{F_{\text{ex}} \cdot \frac{100+x_{\text{вх}}}{100+x_{\text{вых}}} \cdot C(x_{\text{вых}})}{22,4} \right) - T_{\text{вх}} \quad (7)$$

После упрощения выражения (7) получим:

$$\Delta T(T_{\text{вх}}, x_{\text{вых}}) = \\ = \left(C(x_{\text{вх}}) T_{\text{вх}} + 1,014 \frac{x_{\text{вых}} - x_{\text{вх}}}{1+x_{\text{вх}}} \cdot \frac{1+x_{\text{вх}}}{1+x_{\text{вых}}} H \right) \cdot K_T \\ / \left(\frac{1+x_{\text{вх}}}{1+x_{\text{вых}}} \cdot C(x_{\text{вых}}) \right) - T_{\text{вх}} \quad (8)$$

Подставив (6) в (8), получим:

$$x_{\text{вых}} = - \left\{ \begin{array}{l} 0,8989(T_{\text{ex}} + \Delta T - K_T T_{\text{ex}} + T_{\text{ex}} x_{\text{ex}} + \\ + \Delta T \cdot x_{\text{ex}}) + K_T x_{\text{ex}} (1.6 \cdot 10^3 - T_{\text{ex}}) \end{array} \right\} / \\ \left\{ \begin{array}{l} T_{\text{ex}} + \Delta T + T_{\text{ex}} \cdot x_{\text{ex}} + \Delta T \cdot x_{\text{ex}} - K_T \cdot T_{\text{ex}} \cdot x_{\text{ex}} - \\ - 0,8989 K_T \cdot T_{\text{ex}} - 1.6 \cdot 10^3 K_T \end{array} \right\} \quad (9)$$

Используя (1) и (9), можно оценивать эффективности каждой катализаторной полки в от-

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулаков С.М., Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Труды IX Всероссийской научно-практической конференции / под редакцией С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева; Сиб. гос. индустр. ун-т - Новокузнецк: Изд. Центр СибГИУ, 2013, стр.209-213.
2. Яновский Н.А., Аммиак. Вопросы технологии - Донецк: ГИК «Новая печать», ООО «Лебедь», 2001 – 497с.
3. С.Н. Ганз, Теоретические основы и технология синтеза аммиака - Харьков, Высш. школа 1969, - 260 с.

Авторы статьи

Кулаков

Станислав Матвеевич
докт. техн. наук, проф. каф. автоматизации и информационных систем
СибГИУ, г. Новокузнецк.
Email: kulakov-ais@mail.ru

дельности и всей колонны синтеза в целом:

$$G_{\Sigma} = 0,773 \cdot \sum_{i=1}^3 \left(F_{\text{ex}i} \cdot \frac{1+x_{\text{вх}i}}{1+x_{\text{вых}i}(\Delta T_i, x_{\text{вх}i})} \times \right. \\ \left. \times \frac{x_{\text{вых}i}(\Delta T_i, x_{\text{вх}i}) - x_{\text{вх}i}}{1+x_{\text{вх}i}} \right) \\ , [\text{кг/ч}] \quad (10)$$

где i – порядковый номер катализаторной полки.

В частном случае, для колонны синтеза, построенной по проекту «Ammonia Casale», значение содержания аммиака на входе второй и третьей катализаторных полок определяются как:

$$x_{\text{вх}2} = \frac{x_{\text{вх}1} \cdot F_{\delta 2} + x_{\text{вых}1} \cdot F_{\text{ex}1} \cdot \frac{x_{\text{вх}1} + 1}{x_{\text{вых}1} + 1}}{F_{\text{ex}1} \cdot \frac{x_{\text{вх}1} + 1}{x_{\text{вых}1} + 1} + F_{\delta 2}}, \\ x_{\text{вх}3} = x_{\text{вых}2} \quad (11)$$

где $F_{\delta 2}$, м³/час – расход газа по второй линии «холодного» байпаса, через задвижку TCV-605 (рис. 1).

На рис. 2 сплошной линией показана оценка производительности косвенным путем, через приращения температур циркуляционного газа, проходящего через катализаторные полки.

Данная оценка производительности по формуле (10) не противоречит оценке приведенной ранее согласно (1), так как оба расчета приводят к одному и тому же результату. При использовании интеллектуальной системы управления на базе экспертной системы с применением модуля математического моделирования технологических процессов в колонне синтеза аммиака, уравнение (10) позволяет производить оценку решений выработанных системой управления до их реализации на реальном объекте.

Таким образом, применение косвенных методов расчета производительности колонны синтеза позволяет оценить эффективность оптимизации технологического режима без значительных затрат.

Торопов
Денис Валерьевич
аспирант СибГИУ, г. Новокузнецк
(email: denis-toropov@mail.ru,