

УДК 681.5

Моделирование системы управления технологическим процессом моноэтаноламиновой очистки газа

Коннов Станислав Павлович

студент Волжского политехнического института
Волгоградского государственного технического университета

Маслова Татьяна Александровна

ассистент Волжского политехнического института
Волгоградского государственного технического университета

***Аннотация:** В этой статье описан технологический процесс моноэтаноламиновой очистки газа. Объектом исследования выбран абсорбер и с помощью экспериментальной кривой разгона получена передаточная функция объекта управления. Произведено моделирование объекта управления в программном средстве VisSim и подобраны оптимальные настроечные коэффициенты для ПИ-регулятора методом Циглера-Никольса с последующей ручной корректировкой параметров.*

***Abstract:** This paper describes the technological process of monoethanolamine gas purification. An absorber is selected as the object of study and the transfer function of the control object is obtained using an experimental acceleration curve. Modeling of the control object in VisSim software is performed and optimal tuning coefficients for the PI controller are selected by the Ziegler-Nichols method with subsequent manual correction of the parameters.*

***Ключевые слова:** абсорбер, моноэтаноламиновая очистка, очистка газа, автоматизация, ПИ-регулятор, кривая разгона, передаточная функция.*

***Keywords:** absorber, monoethanolamine purification, gas purification, automation, PI controller, acceleration curve, transfer function.*

.....

Газ является одним из наиболее популярных видов топлива, в первую очередь из-за его экономической эффективности и минимального воздействия на окружающую среду.

Тем не менее добыча природного газа в чистом виде невозможна. Вместе с газом извлекаются попутные органические соединения, в частности

сероводород. Сероводород токсичен, опасен для окружающей среды и наносит ущерб катализаторам переработки газа. Это органическое соединение сильно разъедает стальные трубы и металлическую запорную арматуру, приводя к утечкам природного газа.

Для защиты потребителей вредные соединения удаляются из газообразного топлива еще до того, как оно попадает в магистральный трубопровод.

Допустимое содержание сероводорода в газе согласно ГОСТ 5542–2014 «Газы горючие природные промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия» не должно превышать 0,02 г/м³ [1].

Существует большое число методов очистки углеводородного газа, которые условно относят к трем группам — абсорбционные, адсорбционные и каталитические методы [2].

Ведущее место в мировой практике в области очистки углеводородного газа от кислых компонентов занимают аминовые процессы. Они применяются для очистки природного газа уже несколько десятилетий, но до настоящего времени остаются основными — примерно 70% от общего числа установок [2].

Моноэтаноламиновая очистка газа является самым простым и недорогим способом очистки газа.

Использование раствора моноэтаноламина позволяет достичь оптимального уровня очистки, в первую очередь благодаря его значительной абсорбционной способности даже в условиях низкого давления [3].

Начальный этап процесса очистки газа включает подачу охлажденного природного газа в абсорбер, где диоксид углерода извлекается путем использования раствора моноэтаноламина. После этого раствор моноэтаноламина насыщается диоксидом углерода во время фазы абсорбции, и регенерация раствора моноэтаноламина происходит в ректификационной колонне, оснащенной выносным котлом.

На рисунке 1 показана схема охлаждения абсорбера (поз. 1), моноэтаноламином из сети трубопровода цеха.

Объектом автоматического регулирования в процессе моноэтаноламиновой очистки, является абсорбер (рис. 1, поз. 1). Данная установка выбрана в качестве основного элемента управления, поскольку температура

и уровень очистки природного газа зависят от температуры внутри этого компонента. Температура внутри абсорбера зависит от количества подаваемого моноэтаноламина. Увеличение подачи моноэтаноламина приводит к снижению как температуры, так и степени очистки природного газа. Крайне важно избегать перегрева абсорбера, поскольку это отрицательно сказывается на процессе ректификации и приводит к получению некачественного продукта.

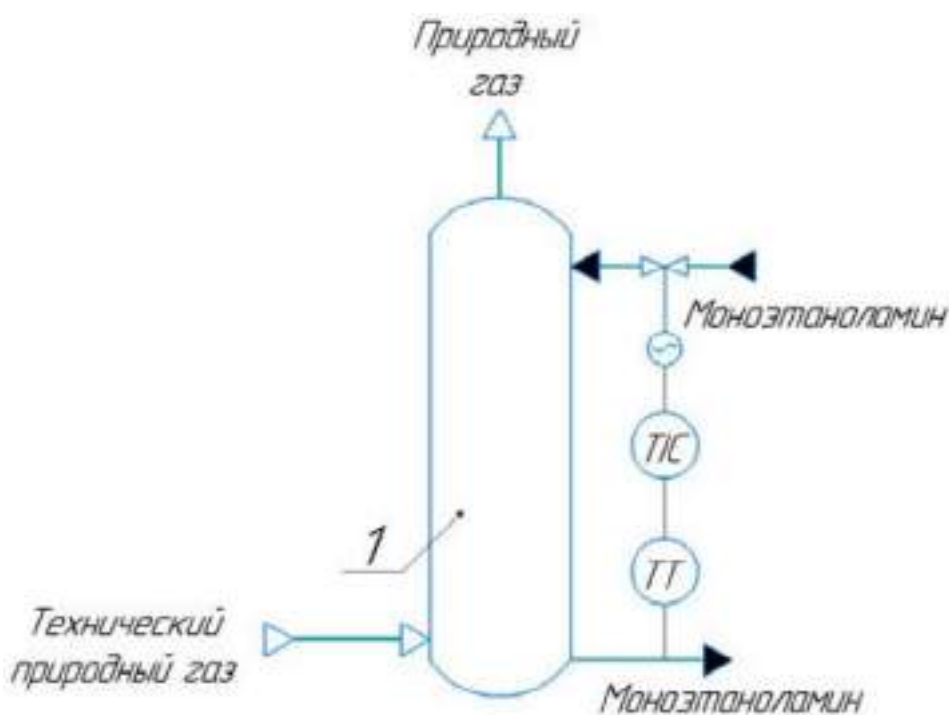


Рисунок 1. Схема управления температурой в абсорбере

Для достижения оптимального регулирования температуры внутри абсорбера важно смоделировать объект управления, выбрать стратегию управления и определить регулировочные параметры регулятора с помощью выбранного метода, такого как метод Циглера-Никольса, Чина-Хронеса-Ресвика, Куна (быстрая настройка), Стогестада и др.

В данной работе настройка параметров регулятора будет производиться по методу Циглера-Никольса [4] с дальнейшей ручной корректировкой коэффициентов для достижения наилучшего результата.

Температура внутри абсорбера колеблется от 40 °С до 25 °С. Чтобы определить передаточную функцию объекта управления для абсорбера, необ-

ходимо получить экспериментальную кривую разгона. Для этого вносится возмущающее воздействие (аналоговый сигнал 9 мА) на привод исполнительного механизма на линии подачи моноэтаноламина. В результате эксперимента получены следующие данные (рис. 2):

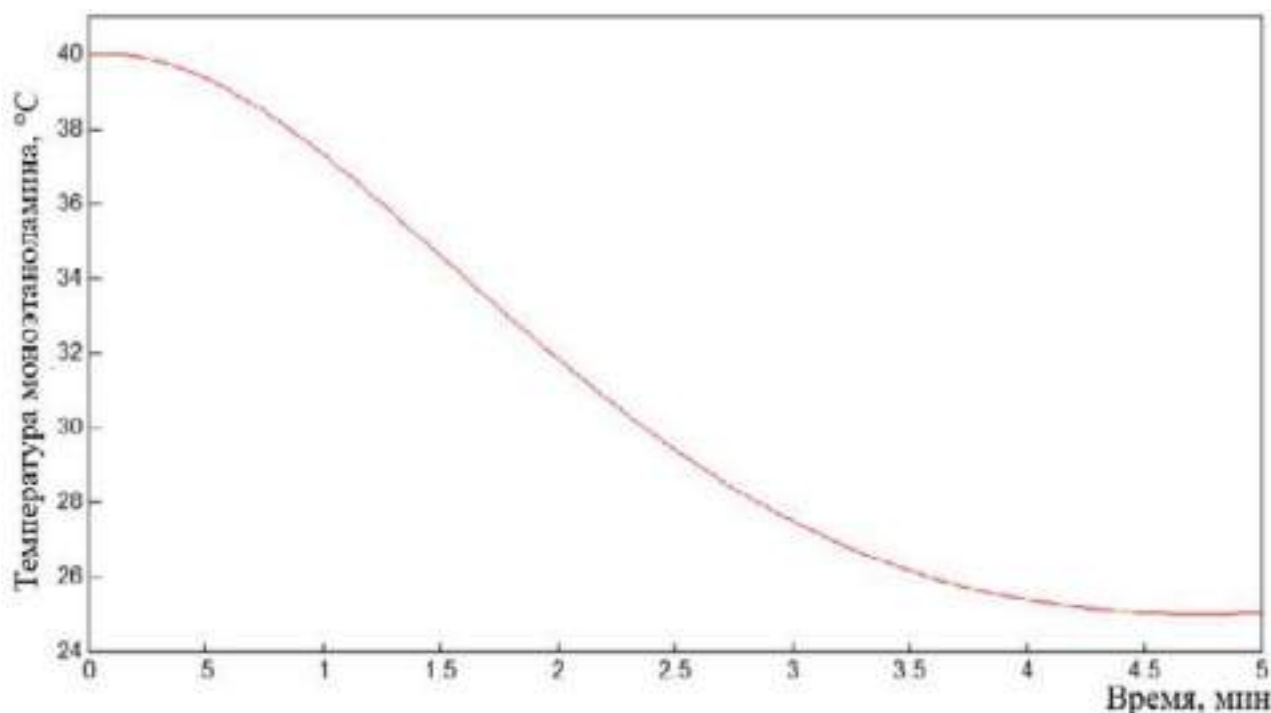


Рисунок 2. График кривой разгона температуры моноэтаноламина

Согласно методу, изложенному в [5] определяется передаточная функция объекта управления. Зависимость температуры от времени описывается передаточной функцией, представленной в виде формулы [6]:

$$W(p) = \frac{k}{(Tp + 1)^n} \cdot e^{-p\tau},$$

где: k - коэффициент усиления, мин, T - постоянная времени, мин, τ - время запаздывания, мин.

Исходная кривая разгона преобразуется для удобства расчета в относительные координаты, изменяющиеся в диапазоне от 0 до 100%.

Значения необходимых коэффициентов k , T , n , τ вычисляются [5] и вносятся в формулу, в результате чего получается передаточная функция, описывающая систему управления температурой в абсорбере.

$$W(p) = \frac{3,3}{p^2 + 2p + 1} \cdot e^{-0,1p}.$$

Согласно полученной передаточной формуле объект управления имеет второй порядок с временем запаздывания 0,1 минута.

Для расчета параметров настройки регуляторов используются программные средства имитационного моделирования. Этот подход позволяет определять ключевые параметры регулятора с достаточным уровнем точности, и все это производится без нарушения работы оборудования и технологического процесса.

В данной работе используется метод Циглера-Никольса, настройка проводится в программном средстве VisSim. Для этого реализована структурная схема замкнутой системы регулирования с обратной связью с заданными параметрами входящих в нее элементов.

Сегодня существуют множество видов регуляторов, например, регуляторы на базе нечеткой логики, нейросетях, но основными остаются ПИ-регуляторы и релейные регуляторы [7].

ПИ-регуляторы находят применение в промышленности, когда возникает необходимость в точном поддержании параметра, который не подвергается немедленному изменению, даже при внезапных изменениях во внешней среде.

Настроечные параметры ПИ — регулятора рассчитанные с помощью метода Циглера-Никольса имеют следующие значения:

$k_1^0 = 0.45 \cdot k_1 = 2.7$ — П часть (пропорциональна разности входного сигнала и сигнала обратной связи (сигнал рассогласования));

$k_2^0 = 1.2 / T = 0.85$ — И часть (интеграл сигнала рассогласования);

Полученные численные значения настроечных параметров регуляторов подставляются в структурную схему замкнутой линейной системы.

Реализация ПИ-регулятора с рассчитанными настроечными параметрами в программном средстве VisSim представлена на рисунке 3.

Параметры системы, рассчитанные таким образом, обеспечивают затухание переходного процесса с течением времени, т.е. они обеспечивают фундаментальную возможность перехода системы в определенное устойчивое состояние при любом внешнем возмущении. Однако требуется,

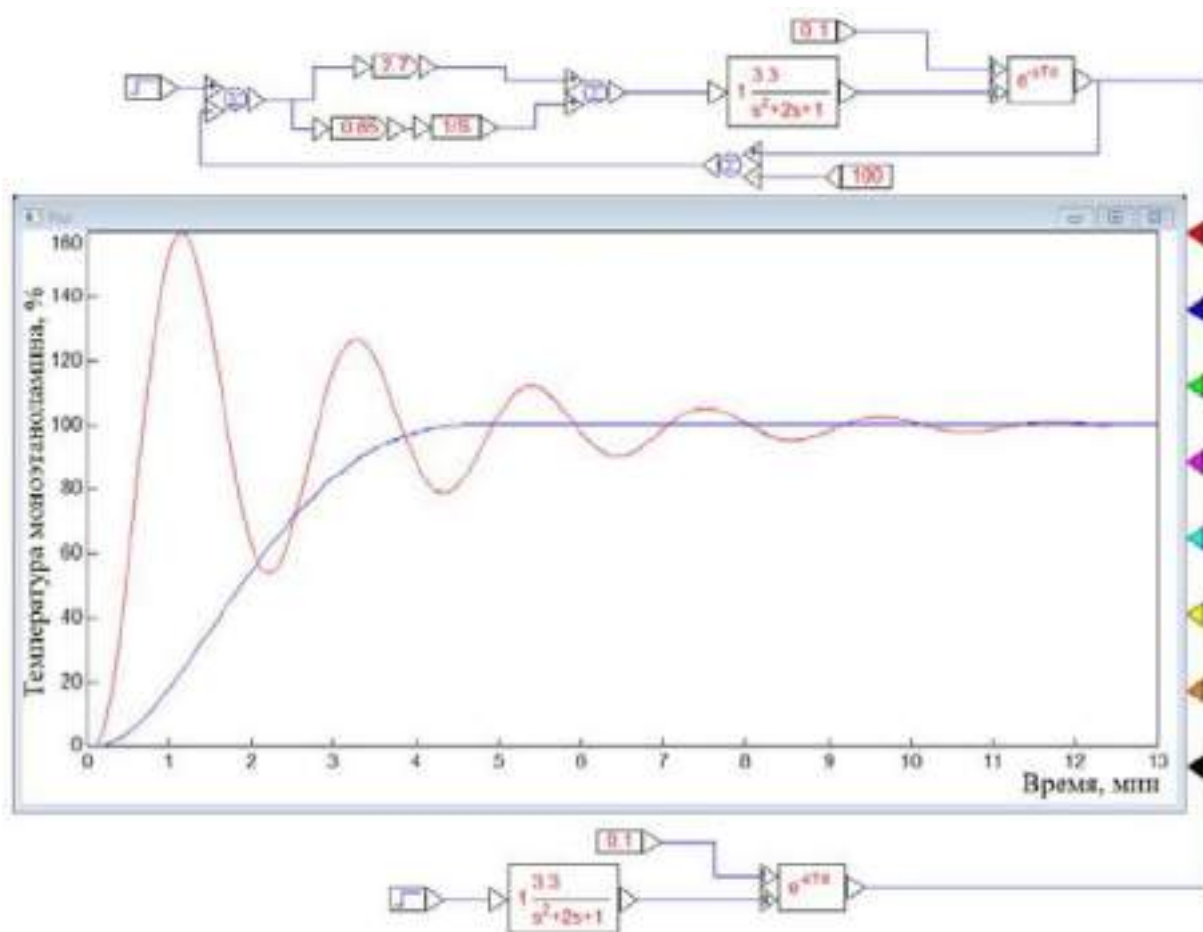


Рисунок 3. ПИ-регулятор с рассчитанными настроечными параметрами изменения температуры моноэтаноламина

во-первых, чтобы это установившееся состояние было достаточно близким к заданному и, во-вторых, чтобы затухание переходного процесса было достаточно быстрым, а отклонения при этом были небольшими.

Полученный график имеет большое перерегулирование (60%) и требует ручной подстройки коэффициентов (рис. 3).

Ручная корректировка коэффициентов ПИ-регулятора значительно улучшила вид переходной характеристики (рис. 4). Оптимальные коэффициенты:

$k_1 = 0.45$ — пропорциональная составляющая,

$k_2 = 0.05$ — интегральная составляющая.

Для оценки эффективности выбранного закона регулирования и точности настройки коэффициентов регулятора требуется анализ основных критериев качества переходного процесса.

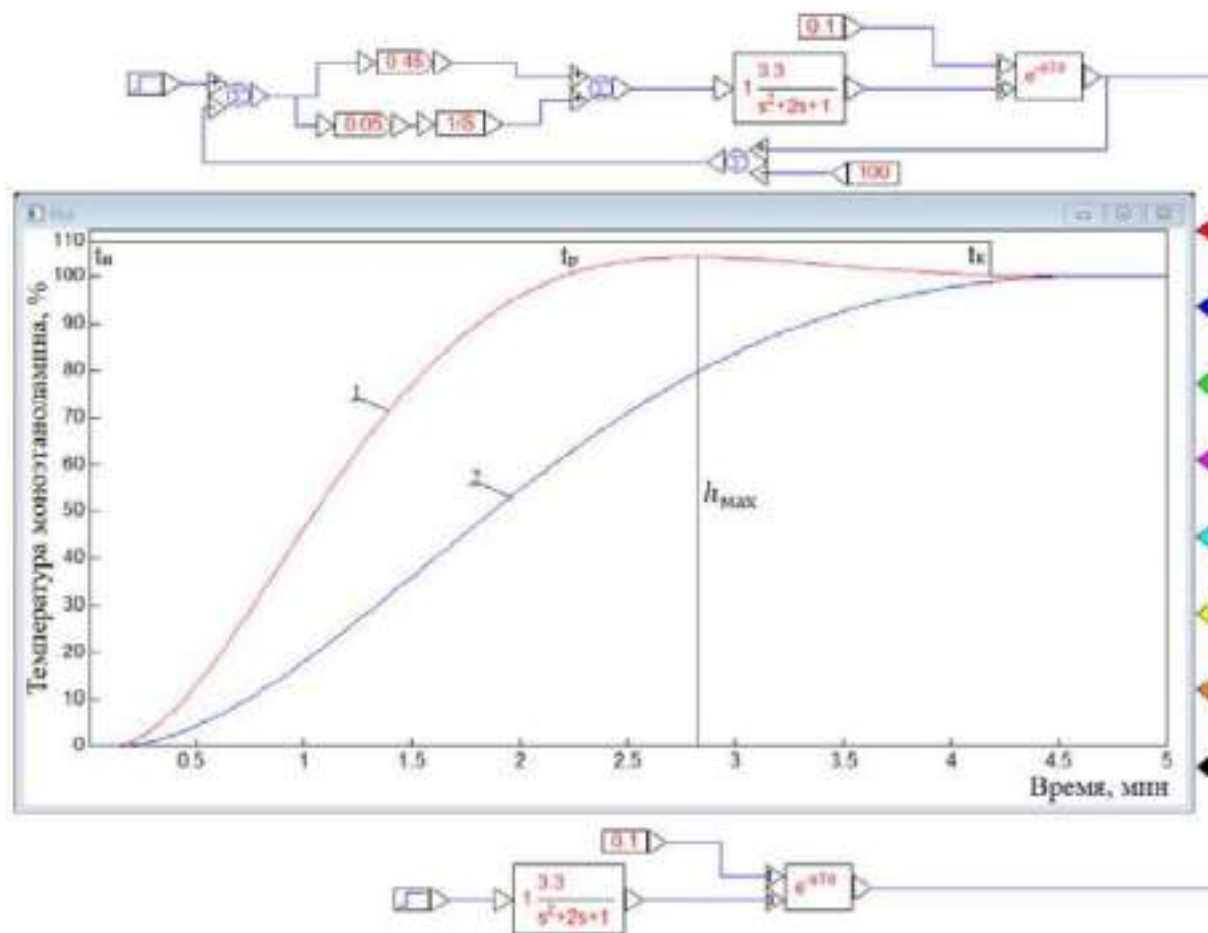


Рисунок 4. Переходной процесс

1 — кривая изменения температуры в абсорбере с ПИ-регулятором; 2 — исходная кривая изменения температуры моноэтаноламина.

К критериям качества относятся время регулирования, перерегулирование, и колебательность переходного процесса [8].

При изучении графика (Рис. 4) было определено, что ключевые показатели, отражающие качество управления системой с ПИ-регулятором, имеют следующие значения, соответствующие эффективному управлению технологическим процессом:

1. Перерегулирование $\sigma = 4\%$;
2. Время регулирования $T_p = 4,2$ минут;
3. Колебательность $N = 1$.

Посредством анализа технологического процесса была определена передаточная функция объекта управления, которая указывает на то, что объект имеет второй порядок и запаздывание 0,1 минуту.

Построенная математическая модель объекта управления облегчает проверку качества технологического процесса, в частности, контроль температуры внутри абсорбера.

Кроме того, в этом исследовании были вычислены и выбраны оптимальные настроечные коэффициенты для ПИ-регулятора путем моделирования объекта с использованием программного обеспечения VisSim. Согласно представленным графикам и расчетам, регулятор с такими настроечными коэффициентами может своевременно регулировать возмущающие воздействия внутри системы, влияя как на качество, так и на экономические показатели технологического процесса.

Список литературы

1. ГОСТ 5542—2014. Газы горючие природные промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия; Межгосударственный стандарт: введен 2015—07—01 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. — Изд. официальное. — Москва: Стандартинформ, 2019.— 9 с
2. Мазгаров А. М. Технологии очистки попутного нефтяного газа от сероводорода /А. М. Мазгаров, О. М. Корнетова. — Казань: Казан. ун-т, 2015.— 70 с.
3. Письмен М. К. Производство водорода в нефтеперерабатывающей промышленности. М., «Химия», 1976
4. Zigler J.C., Nichols N. B. Optimum settings for automatic controllers. — N.Y.: Research Triangle Park, 1992.— 759 p
5. Ротач, В. Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами/ В. Я. Ротач. — М.: Учебник для вузов — Энергоатомиздат. 2004.— 400 с.
6. Моделирование объектов управления // Vuzlit. URL: https://vuzlit.ru/1125058/modelirovanie_obektov_upravleniya (дата обращения 10.01.2024г).
7. Юшков, И. С. Сравнение ПИ-регулятора и релейного регулятора в современном электроприводе / И. С. Юшков, Д. В. Вильгельм, А. В. Мартынов // Modern Science.— 2020.— № 2—1. — С. 399—402.