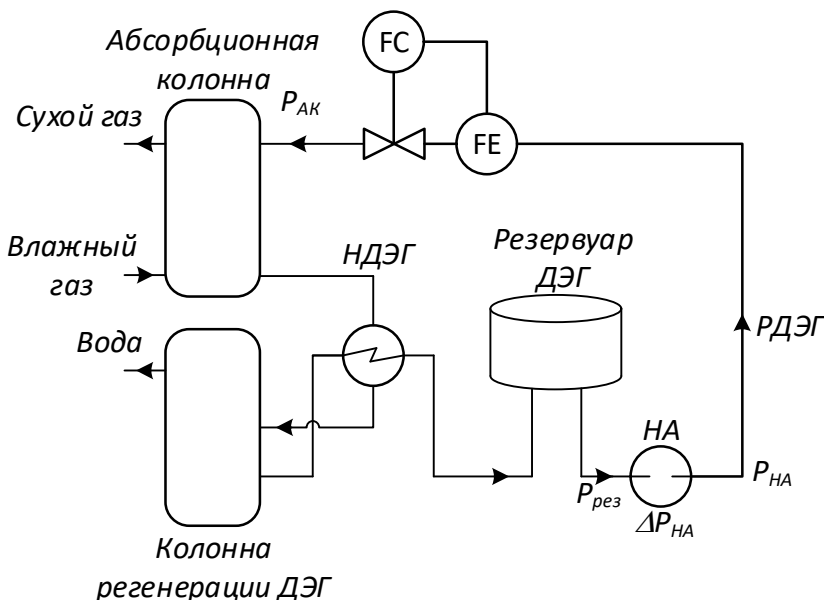


## Практика 5. Регулирование расхода ДЭГ абсорбционной колонны

### Введение

На рисунке показана упрощенная схема абсорбционной осушки газа. Целью осушки является снижения содержания водяных паров в газе, чтобы вода не выпадала в виде росы при магистральной транспортировке. Осушка влажного газа осуществляется с помощью абсорбции воды диэтиленгликолем (ДЭГ) в абсорбционной колонне. Для получения целевых показателей качества осушки (содержания водяных паров в газе) требуется выполнение ряда условий, в частности необходима стабилизация расхода регенерированного ДЭГ (РДЭГ), подаваемого из колонны регенерации.



### Анализ основных источников возмущений

В резервуаре ДЭГ сосредоточено значительное количество ДЭГ. Это количество таково, что при изменении расхода ДЭГ от колонны регенерации запас ДЭГ в резервуаре изменится относительно мало. Мало изменится и уровень  $h_{рез}$  ДЭГ в резервуаре. В результате мало изменится и соответствующее гидростатическое давление столба жидкости. Можно принять:

$$P_{рез} = \rho_{дэг} g h_{рез} = const.$$

Кроме того, допустимо принять, что изменение расхода через НА мало влияет на его перепад давления:

$$\Delta P_{НА} = const,$$

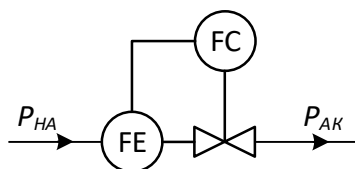
поэтому

$$P_{НА} = P_{рез} + \Delta P_{НА} = const.$$

Основным возмущением, влияющим на расход ДЭГ, является изменение давления в абсорбционной колонне. Изменение может быть вызвано остановкой одной из параллельных ниток абсорбционной осушки, в этом случае давление  $P_{AK}$  уменьшается на **3-4%** от номинального в течение 3-5 минут. Указание: скачок давления сглаживать экспоненциальным фильтром с постоянной времени 1 мин.

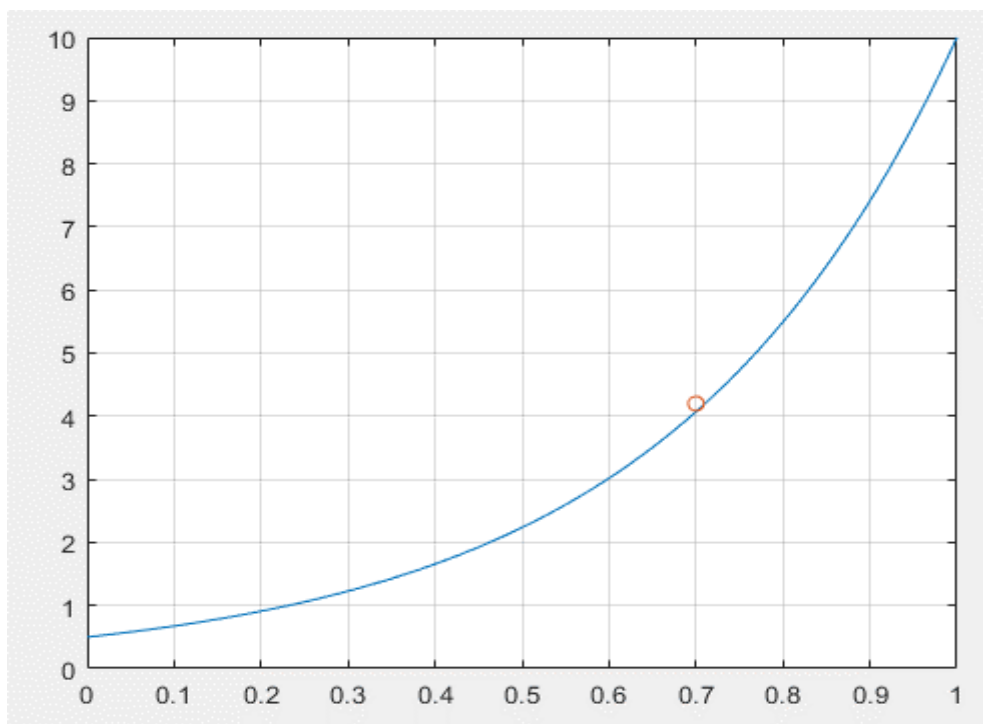
Другим возмущающим воздействием могут быть пульсации давления в газосборной сети, обусловленные пусками/остановами кустов скважин, переходными процессами в самой сети. Несмотря на то, что эти пульсации частично демпфируются в цехе сепарации газа, их влияние по-прежнему существенно. Амплитуда колебаний  $P_{AK}$  составляет **1%** от номинального, период пульсаций до 5 мин. Указание: моделировать пульсации как розовый шум с постоянной времени экспоненциального фильтра 5 мин.

Для моделирования регулирования расхода РДЭГ достаточно реализовать схему ниже. Данная простая схема позволяет моделировать поведение расхода в условиях заданных возмущений.



Номинальные параметры технологического режима и параметры регулирующего клапана сведены в таблицу.

Клапан регулирования расхода РДЭГ		
Параметр	Значение	Ед.изм.
Давление до клапана $P_{HA}$	4990	кПа
Давление после клапана $P_{AK}$	4890	кПа
Расход массовый	4,309	т/ч
Объемный расход	3,847	м <sup>3</sup> /ч
Плотность	1120	кг/м <sup>3</sup>
Номинальное положение	70	%
Номинальная пропускная способность, Kv	4.1	м <sup>3</sup> /ч
Условная пропускная способность Kv <sub>v</sub> (Kv100)	10	м <sup>3</sup> /ч
Пропускная способность начальная (Kv <sub>0</sub> )	0.5	м <sup>3</sup> /ч
Тип характеристики	Равнопроцентная	
Время полного открытия	1	мин



Расходная характеристика регулирующего клапана

#### Порядок выполнения работы

##### Часть 1. Разработка модели клапана подачи ДЭГ

- По аналогии с практикой 1 реализовать модель регулирующей арматуры, при этом:
  - использоваться формулу Kv-характеристики,
  - учесть, что ДЭГ – несжимаемая жидкость.
- Убедиться, что при номинальных параметрах расчетный расход тоже равен номинальному. Убедиться, что нет переходного процесса при неизменных давлениях.

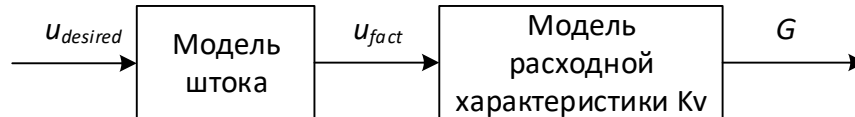
Этот пункт является строго обязательным к выполнению, т.к. без этого не удастся нормально реализовать и исследовать работу регулятора во второй части. Работа, где данное требование не выполнено, не рассматривается.

3. Полностью аналогично практике 1 реализовать модель привода регулирующей арматуры.
4. Реализовать возмущения, описанные в данной работе.

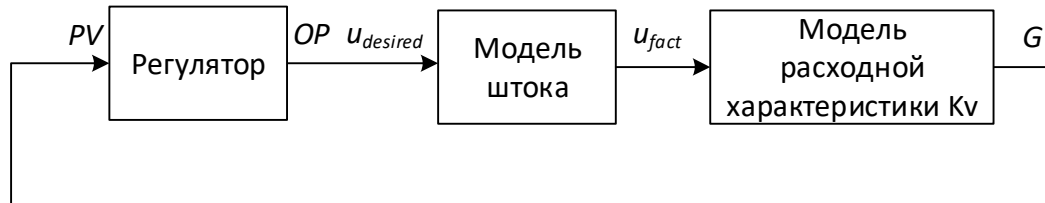
## Часть 2. Реализация ПИ-регулятора

### Проблема схем с циклами

В первой части задания модель в упрощенном виде можно представить так:



Рассмотрим эту схему с точки зрения вычислительных алгоритмов Simulink. У каждого расчетного блока можно вычислить выход, если определены все входы. Поскольку один из входов расходной характеристики ( $u_{fact}$ ) является выходом модели штока, то, следовательно, в первую очередь должна быть рассчитана модель штока и только потом можно вычислить расход  $G$  по модели расходной характеристики. Проблема возникает, когда схема замыкается регулятором:



Продолжим начатые рассуждения. Для расчета модели штока нужно посчитать выход регулятора, однако его в свою очередь можно посчитать, только посчитав модель расходной характеристики. Получается буквально замкнутый круг, точнее замкнутый цикл. Чтобы разорвать эту тупиковую цепочку взаимосвязи, нужно ввести в нее объект, который может вычислить свой выход, не имея значения входа. Это может быть практически любой объект с начальным условием. Информация о проблеме на сайте компании-разработчика среды Matlab: <https://www.mathworks.com/help/simulink/ug/algebraic-loops.html>

В данной работе рекомендуется поставить блок запаздывания (Discrete/Unit delay) на выход регулятора. Указания по инициализации его начального условия даны по ходу работы.

### Ход работы

1. Реализовать П-регулятор:
  - a. Реализовать нормировку и формулу П-регулятора с возможностью выбора способа действия регулятора (прямой, обратный).
    - i. **Пока не замыкать контур регулирования!**
    - ii. Уставка должна задаваться в тех же единицах, что и регулируемая величина.
    - iii. Исходя из возможного диапазона PV задаться диапазонами PVmin/PVmax. Нормировка должна проводиться единообразно как для регулируемой величины, так и для уставки.
    - iv. Диапазон OP считать равным [0, 1], поэтому нормировать его не надо.
    - v. Если реализована сразу формула ПИД-регулятора, задать  $K_i = K_d = 0$ , чтобы оставить только П-составляющую.
  - b. Убедиться, что при номинальном расходе регулятор дает номинальное управляющее воздействие 70%. Указания:
    - i. задать  $OP_{нач}$
    - ii. задать уставку, равную номинальному расходу.

- c. В соответствии с видом статической характеристики объекта управления, определить способ действия регулятора (прямой, обратный).
  - d. Замкнуть управляющее воздействие на объект через блок задержки (Discrete/Unit delay)
    - i. Задать блоку задержки начальное условие, равное номинальному управляющему воздействию (70%)
    - ii. Убедиться, что отсутствуют переходные процессы при запуске моделирования при постоянной уставке.  
**Этот пункт является строго обязательным к выполнению, т.к. без этого не удастся нормально реализовать и исследовать работу регулятора. Работа, где данное требование не выполнено, не рассматривается.**
2. Вывести на график SP, PV, OP. При выводе графиков выводить подобные переменные, такие как SP и PV в одни оси (Использовать блок MUX для «слияния» двух параметров).
  3. Провести моделирование переходных процессов по смене уставки, чтобы убедиться в корректности модели.
    - i. Убедиться, что переходной процесс соответствует формуле регулятора: имеется скачок управляющего воздействия при смене уставки, .
    - ii. Убедиться, что параметр настройки  $K_c$  вынесен как входной параметр блока регулятора. Убедиться, что регулятор учитывает изменение  $K_c$ .
    - iii. Убедиться, что влияние  $K_c$  на статическую ошибку соответствует теории (увеличение  $K_c$  уменьшает статическую ошибку).
  4. Реализовать И-регулятор.
    - a. Дополнить формулу П-регулятора И-составляющей.
    - b. Отключить П-составляющую ( $K_c = 0$ ), включить И-составляющую за счет коэффициентов настройки.
    - c. Убедиться, что отсутствуют переходные процессы при запуске моделирования при постоянной уставке.
    - d. Провести моделирование переходных процессов по смене уставки, чтобы убедиться в корректности модели.
      - i. Убедиться, что при смене уставки переходной процесс соответствует формуле регулятора: при смене уставки управляющее воздействие меняется плавно, отсутствует статическая ошибка регулирования.
      - ii. Убедиться, что период дискретизации не влияет на переходной процесс (в реализации алгоритма этот период корректно учтен).
  5. Настроить ПИ-регулятор методом перебора, моделируя переходной процесс при смене уставки:
    - a. Отключить И-составляющую
    - b. Задать малое значение  $K_c$ , при котором нет перерегулирования. Увеличивать  $K_c$  до тех пор, пока не появится перерегулирования
    - c. Добиться отсутствия статической ошибки за счет подбора времени интегрирования  $T_i$  (или коэффициента  $K_i$ ), при котором существенно не вырастет время регулирования.
  6. Проверить работу регулятора в условиях возмущений, в случае существенных отклонений PV от уставки, визуально определить, чем вызвана причина (недостаточным быстродействием клапана или настройками). Если проблема в настройках, откорректировать их.

#### **Вопросы к защите:**

1. Технологический процесс
  - a. Основная цель осушки газа перед магистральным транспортом. Чем отличается осушка от сепарации?
  - b. Как влияет расход РДЭГ на качество осушки? Чем плохо недостаточное количество РДЭГ? Чем плохо избыточная подача РДЭГ?

- c. Почему давление на входе регулирующего клапана РДЭГ можно считать постоянным, даже при изменении расхода РДЭГ?
- d. Какие факторы приводят к тому, что давление на выходе клапана РДЭГ (в абсорбционной колонне на входе по РДЭГ) существенно меняется?
- e. Как влияет изменение давления на выходе клапана РДЭГ на расход РДЭГ?
- f. Зачем нужен именно автоматический регулятор расхода? Другими словами, почему нельзя один раз подобрать положение клапана и раз и навсегда получить за счет этого нужный расход РДЭГ?

## 2. Модель

- a. Гидравлическая характеристика регулирующей арматуры (клапана).
  - i. Формула расчета расхода по перепаду давления для жидкости. Чем отличается формула для газа и жидкости?
  - ii. Можно ли посчитать перепад давления на арматуре, если задан расход?
  - iii. Какая размерность у  $Kv$ ? Какая размерность у расчетного расхода (массового, объемного) с учетом размерности  $Kv$ . Физический смысл величины  $Kv$ ? (Пусть  $Kv$  равно 300. В каких условиях можно наблюдать это значение?). Может ли  $Kv$  отрицательным?
- b. Расходная  $Kv$ -характеристика
  - i. Записать виды расходных характеристик с формулами.
  - ii. Какому положению регулирующей арматуры соответствует величина  $Kv_0$ ? Равно ли в общем случае  $Kv_0$  нулю? Как охарактеризовать поведение регулирующей арматуры, у которой  $Kv_0 \neq 0$ ?
  - iii. Покажите, что для равнопроцентной характеристики  $Kv(0) = Kv_0, Kv(1) = Kv_{100}$ .
  - iv. Поясните, почему равнопроцентная характеристика имеет такое название (в чем заключается свойство так сказать «равнопроцентности»?). Докажите, что равнопроцентная характеристика действительно обладает этим свойством.
- c. Модель линейного (во времени) перемещения штока
  - i. Приведите эскиз графика, показывающего как связаны желаемое и фактическое положение арматуры. Покажите, как на графике проявляется величина  $T_{03}$ ?
  - ii. Как связано максимальное перемещение за период дискретизации  $\Delta t$  и время полного открытия  $T_{03}$ ?
  - iii. Можно ли каким-либо образом менять желаемое положение штока, но так, чтобы фактическое положение никогда не отставало?

## 3. ПИД-регулятор

- a. Понятия PV, SP, OP с расшифровкой и русскоязычными терминами.
- b. П-регулятор
  - i. Формула П-регулятора
  - ii. Доказательство наличия статической ошибки в П-регуляторе (анализ графика статической характеристики объекта). В какой точке у П-регулятора статическая ошибка отсутствует?
  - iii. Зачем вводится  $OP_{нач}$ ? Что будет, если задать  $OP_{нач} = 0$ ?
- c. И-регулятор
  - i. Запись формулы И-регулятора в непрерывном времени (через интеграл)
  - ii. Вывод дискретной рекуррентной формулы И-регулятора. (Интеграл заменить суммой и затем переписать в рекуррентном виде).
  - iii. Доказательство отсутствия статической ошибки И-регулятора.
- d. ПИ-регулятор
  - i. Рекуррентная формула ПИ-регулятора.

- ii. Почему на практике целесообразно использовать ПИ-регулятор, и недостаточно только либо П, либо И-составляющей? За что отвечает П-составляющая, за что И-составляющая?
- e. Нормировка PV
  - i. Измерительный прибор передает значение физического параметра в виде нормированного токового сигнала. Как связан токовый сигнал с величиной физического параметра? Привести график и формулу. Как токовый сигнал преобразовать обратно в значение физического параметра?
  - ii. Что такое PVmin, PVmax? Чему они соответствуют в реальной системе автоматизации?
  - iii. Можно ли из токового сигнала получить нормированное PV, не зная PVmin, PVmax?
  - iv. С какой величиной PV работает реальный регулятор ПЛК? С физическим параметром в единицах измеряемой величины, с токовым сигналом, или с нормированным сигналом?