

1. Автоматическое регулирование уровня воды в парогенераторе

Регулирование питания в каждом из парогенераторов (ПГ) сводится к поддержанию материального баланса между отводом пара, продувкой и подачей питательной воды. Параметром, характеризующим материальный баланс, является уровень воды в ПГ.

К стабилизации уровня предъявляются довольно жесткие требования. Для ПГ с ВВЭР-1000 номинальный уровень $L_{ном}$ составляет 2450 мм от внутренней образующей корпуса. Точность поддержания уровня в статических режимах составляет ± 50 мм от $L_{ном}$, в динамике ± 150 мм от $L_{ном}$ (с учетом нечувствительности регулятора). Повышение уровня воды от $L_{ном}$ не допускается из-за затопления и нарушения работы сепарационных устройств (заброс воды в турбину), а снижение уровня - из-за оголения поверхности нагрева.

Возмущающими воздействиями на уровень являются:

- расход пара (нагрузка);
- изменение расхода питательной воды;
- изменение температуры питательной воды;
- изменение расхода продувки;
- изменение теплоподвода со стороны первого контура (изменение средней температуры первого контура или отключение ГЦН).

При возмущении расходом пара или отключении ГЦН проявляется явно выраженное "набухание" уровня, т.е. изменение его в начальные моменты времени в сторону, не соответствующую знаку возмущающего воздействия. Явление "набухания" можно объяснить так.

При изменении расхода пара, например увеличении, давление в ПГ уменьшается, происходит дополнительное вскипание воды, увеличение уровня. В дальнейшем уровень начинает падать, поскольку расход пара увеличился, а расход питательной воды остался прежним. При отключении ГЦН теплоподвод в ПГ резко уменьшается, интенсивность кипения и объем пузырьков пара уменьшаются, что приводит к снижению уровня. Однако уменьшение парообразования приводит к снижению давления и некоторому увеличению парообразования. Тем не менее первый фактор более существенный. В дальнейшем уровень увеличивается, поскольку расход питательной воды остался неизменным.

Рассмотренные динамические свойства ПГ являются крайне неблагоприятными с точки зрения стабилизации уровня воды. Этим объясняется тот факт, что для автоматического регулирования уровня не пригодны обычные одноконтурные системы регулирования.

Динамику ПГ по уровню по всем входным возмущениям можно описать произведением передаточных функций интегрального и интегро-дифференцирующих звеньев. Эту передаточную функцию можно представить суммой передаточных функций инерционного и интегрального звеньев.

2. Выбор схемы и закона регулирования уровня

Применение пропорционально-интегрального (ПИ) закона регулирования для астатического объекта с явлением "набухания" не обеспечивает требуемого качества регулирования (длительные слабо затухающие колебания уровня при ступенчатом входном возмущении). Интегральный (И) закон также дает плохую устойчивость системы. Пропорциональный (П) закон не допустим из-за статической ошибки регулирования. Поэтому для регулирования уровня в ПГ применяют комбинированную АСР: регулирование по отклонению с П-регулятором и контуром инвариантности по основному возмущающему воздействию - расходу пара.

2-импульсная схема регулирования не применяется по следующим причинам:

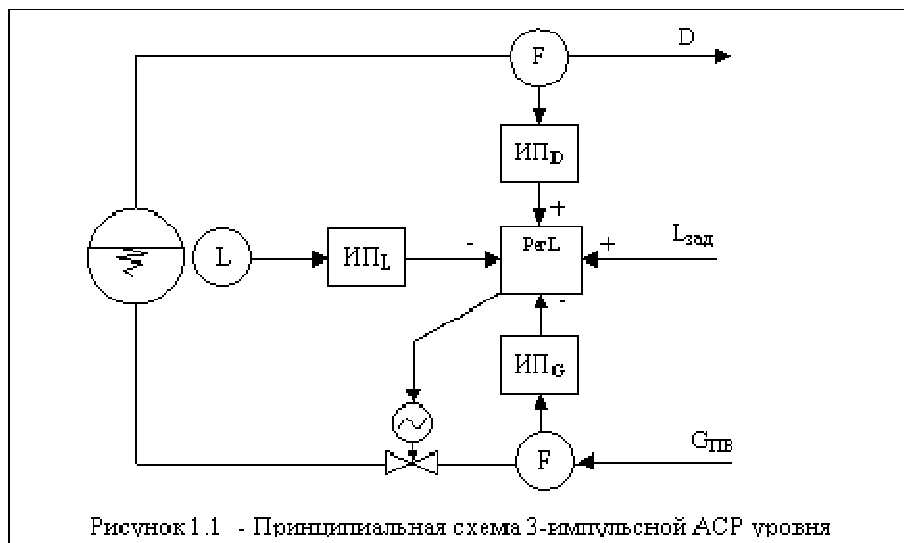
- 1) расход питательной воды через регулирующий питательный клапан зависит не только от положения клапана, но и от перепада давления на нем, который в процессе эксплуатации может изменяться;
- 2) в дифманометрах-расходомерах прежних лет выпуска выходной сигнал был пропорционален корню квадратному из перепада давления.

Указанные недостатки 2-контурной АСР устраняются введением в регулятор третьего импульса по расходу питательной воды от дифманометра-расходомера. Такая 3-импульсная АСР изображена на рисунке 2.2.

Принцип работы АСР следующий. Сигналы по расходу пара и питательной воды вводятся в регулятор с противоположными знаками. В установившемся состоянии эти сигналы равны, противоположны по знаку и, следовательно, компенсируют друг друга.

Сигнал по уровню воды в ПГ компенсируется сигналом задания. При изменении расхода пара мгновенно изменяется соответствующий сигнал на входе в регулятор и последний пропорционально изменяет расход питательной воды, не дожидаясь изменения уровня.

В регуляторе используется ПИ-закон регулирования, однако вследствие ввода в регулятор практически безинерционной отрицательной обратной связи по расходу питательной воды в нем реализуется П-закон регулирования (аналогия жесткой обратной связи по положению регулирующего органа). Статическая неравномерность П-регулятора устраняется корректирующим сигналом по расходу пара.



3. Идентификация технологического объекта по кривой разгона

Экспериментальным путем были получены разгонные кривые парогенератора по уровню при подаче на него возмущений расходом питательной воды и расходом пара (Рисунок 3.1, 3.2).

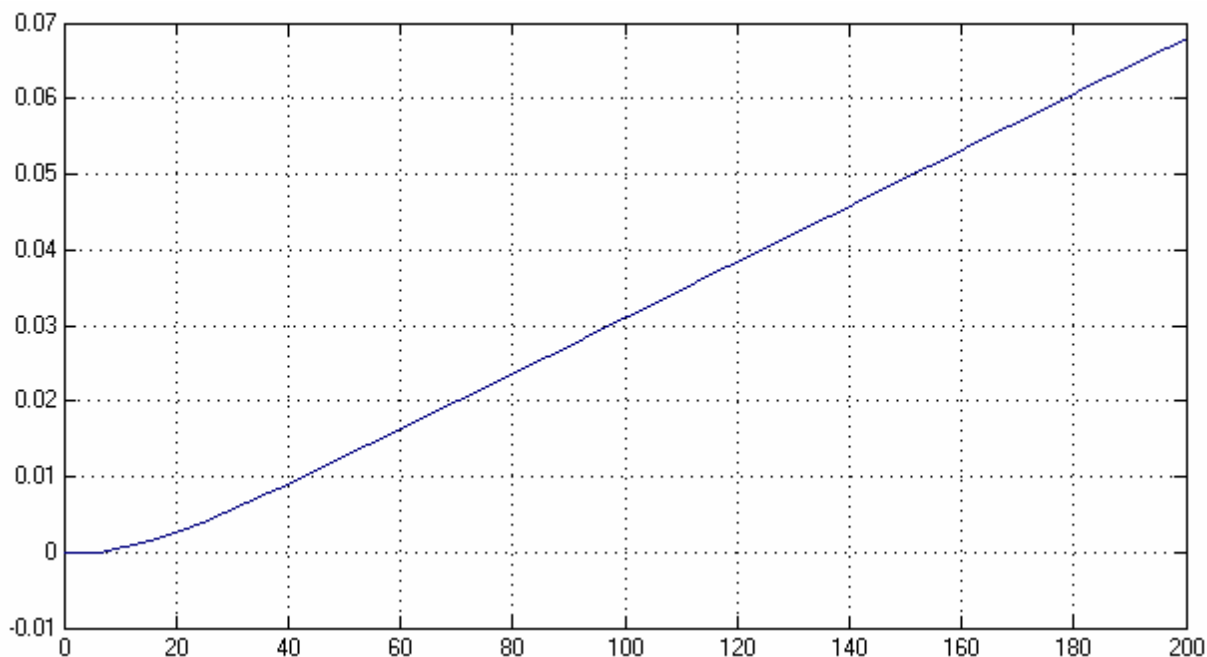


Рисунок 3.1 - Кривая разгона ПГ по уровню при подаче скачкообразного возмущения расходом питательной воды $DG = 10$ кг/с

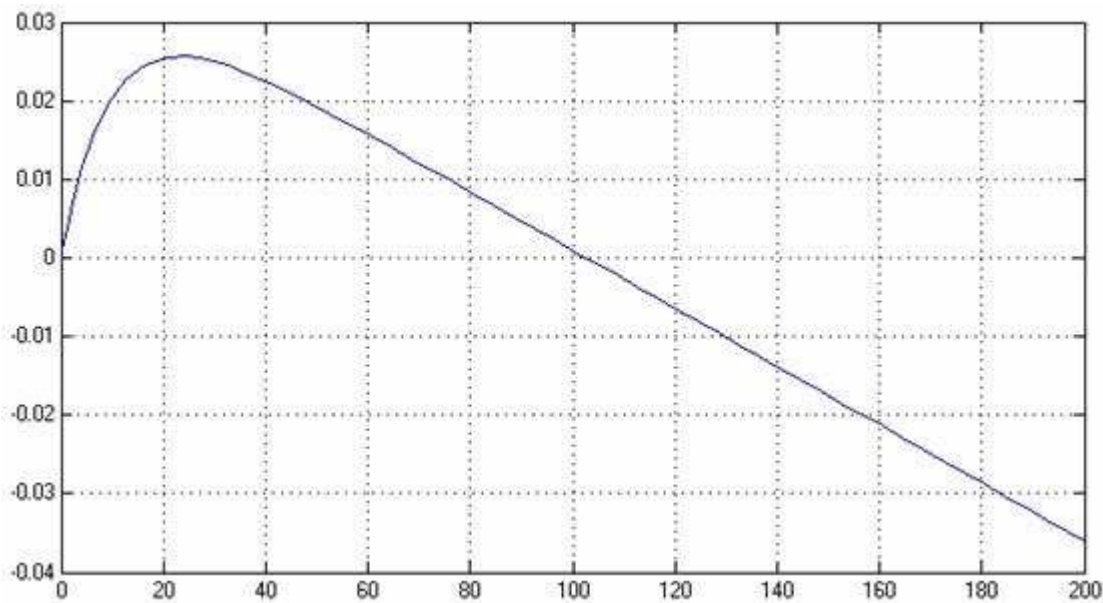


Рисунок 3.2 - Кривая разгона ПГ по уровню при подаче скачкообразного возмущения расходом пара $DD = 10 \text{ кг/с}$

Данные свойства парогенератора можно описать суммой передаточных функций инерционного и интегрального звеньев, а коэффициенты определить экспертно-опытным путем при помощи программы Simulink, входящей в программный пакет Matlab6.1

Структурная схема модели представлена на рисунке 3.3.

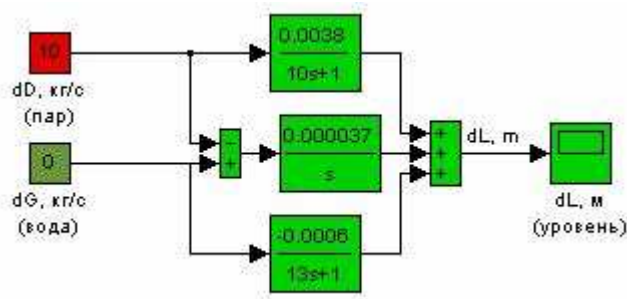


Рисунок 3.3 - Структурная схема модели парогенератора

4. Идентификация измерительных преобразователей уровня, расходов пара и воды

Уровень в ПГ измеряется датчиком типа Сапфир-22ДД по малому уровнемеру с пределом измерения 0-1000 мм, используя двухкамерный уравнительный сосуд. Статическая характеристика уровнемера приведена на рисунке 4.1-а.

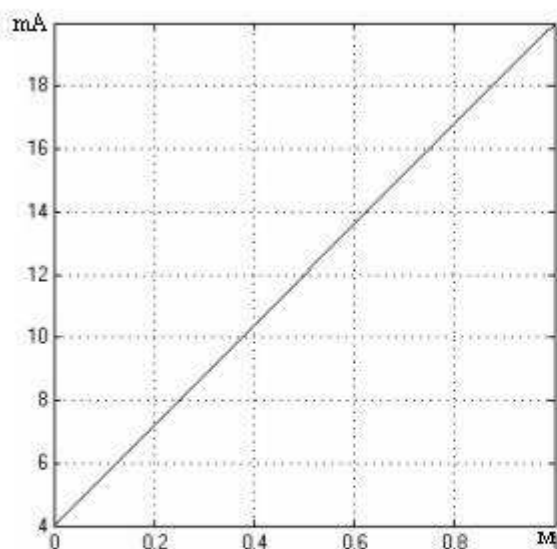
Расход воды измеряется по перепаду давления на сужающем устройстве типа "диафрагма" датчиком типа Сапфир-22ДД с выходным токовым сигналом 4 - 20 мА с пределами измерения 0 - 555 кг/с (0 - 2000 т/ч). Статическая характеристика расходомера приведена на рисунке 4.1-б.

Расход пара оценивается по температуре и давлению в трубопроводе I контура до и после ПГ. Сигнал расхода пара подается в виде нормированного токового сигнала 4 - 20 мА с пределом измерения 0 - 555 кг/с (0 - 2000 т/ч). Статическая характеристика расходомера приведена на рисунке 4.1-б.

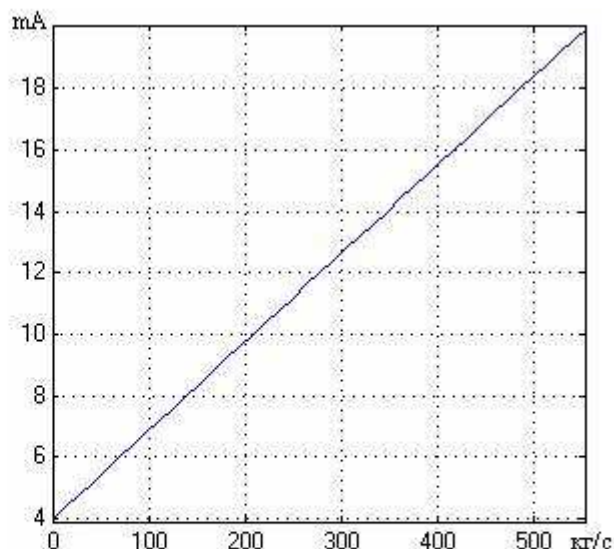
Таким образом, измерительные преобразователи можно описать передаточными функциями пропорциональных звеньев с коэффициентами передачи, которые равняются:

$K_{пL} = 16, \text{ мА/м}$ - для измерения уровня воды в ПГ;

$K_{пG} = K_{пD} = 0.0288, \text{ мА/(кг/с)}$ - для измерения расходов питательной воды и пара соответственно.



а)



б)

Рисунок 4.1 - статические характеристики ИП типа «Сапфир-22ДД» для измерения уровня - а) и расходов питательной воды и пара - б)

5. Идентификация регулирующего клапана

Регулирование уровня воды осуществляется путем изменения расхода питательной воды через регулирующий питательный клапан, который осуществляет регулирование в пределах 0..100%.

Позиционер управляет приводом электродвигателя постоянного тока регулирующего питательного клапана. На позиционер поступает сигнал задания открытия клапана в виде нормированного токового сигнала 0..20мА. Максимальная скорость перемещения штока составляет 5%/с. Работа позиционера моделируется

Расходная характеристика регулирующего питательного клапана приведена на рисунке 5.1.

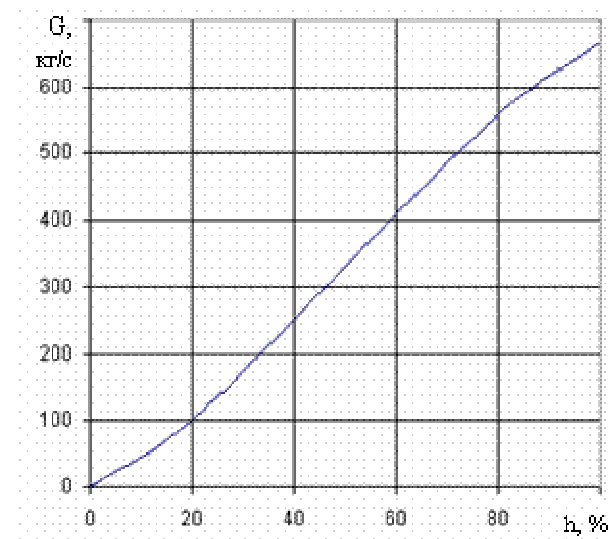


Рисунок 5.1 - Расходная характеристика регулирующего питательного клапана

Как видно, расходная характеристика клапана близка к линейной. Таким образом, для моделирования расхода питательной воды через клапан по каналу "Степень открытия, % - расход на клапане, кг/с" можно описать пропорциональным звеном с коэффициентом пропорциональности $K_{po}=6.67 \text{ (кг/с)/\%}$. На вход звена должен подаваться сигнал положения штока в процентах хода РО (0-100 %xPO).

Трубопровод от клапана до парогенератора моделируется инерциальным звеном 1го порядка с коэффициентом передачи $K_{tr}=1$ и постоянной времени $T_{tr}=2\text{с}$.

Структурная схема модели РО с позиционером, и трубопроводом до ПГ изображена на рисунке 5.2.

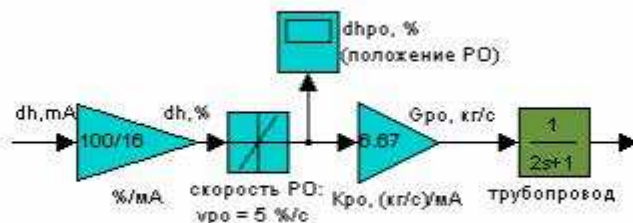


Рисунок 5.2 – Структурная схема модели РО с двигателем постоянного тока и позиционером, трубопроводом к ПГ

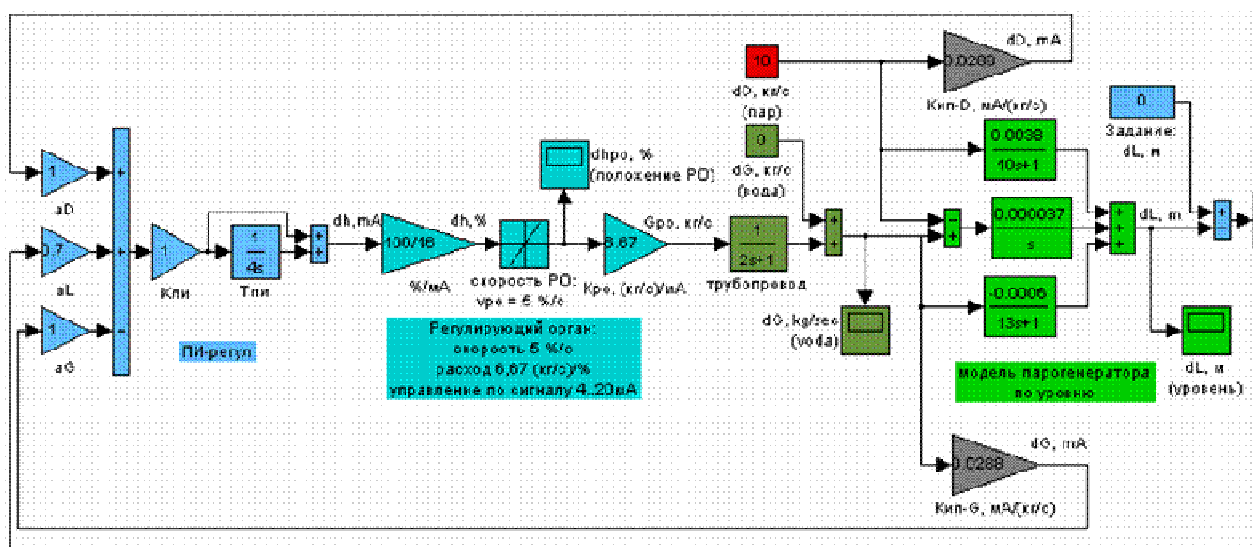


Рисунок 6.1 - структурная схема модели 3-импульсной АСР питания ПГ

6. Составление структурной схемы АСР

По принципиальной схеме 3-импульсной АСР уровня, описанной в п.2 составляем структурную схему. Структурная схема модели 3-импульсной АСР питания ПГ представлена на Рисунке 6.1.

7. Выводы

Использование 3-импульсной АСР уровня воды в ПГ с ПИ-регулятором позволяет с импульсами по расходу питательной воды и пара позволяет регулировать объект с эффектом "набухания".

Таким образом, возможно подавление скачкообразных возмущения расходом пара величиной до 18 кг/с без выхода уровня из 50-миллиметровой зоны. Возмущения же расходом питательной воды практически любой величины (до 510 кг/с) , подаваемые на ПГ не приводят к выходу уровня из 50-миллиметровой зоны.

При всем этом мы имеем апериодический переходный процесс регулирования уровня со временем регулирования менее чем 200 с.

Рисунок 6.1 - структурная схема модели 3-импульсной АСР питания ПГ

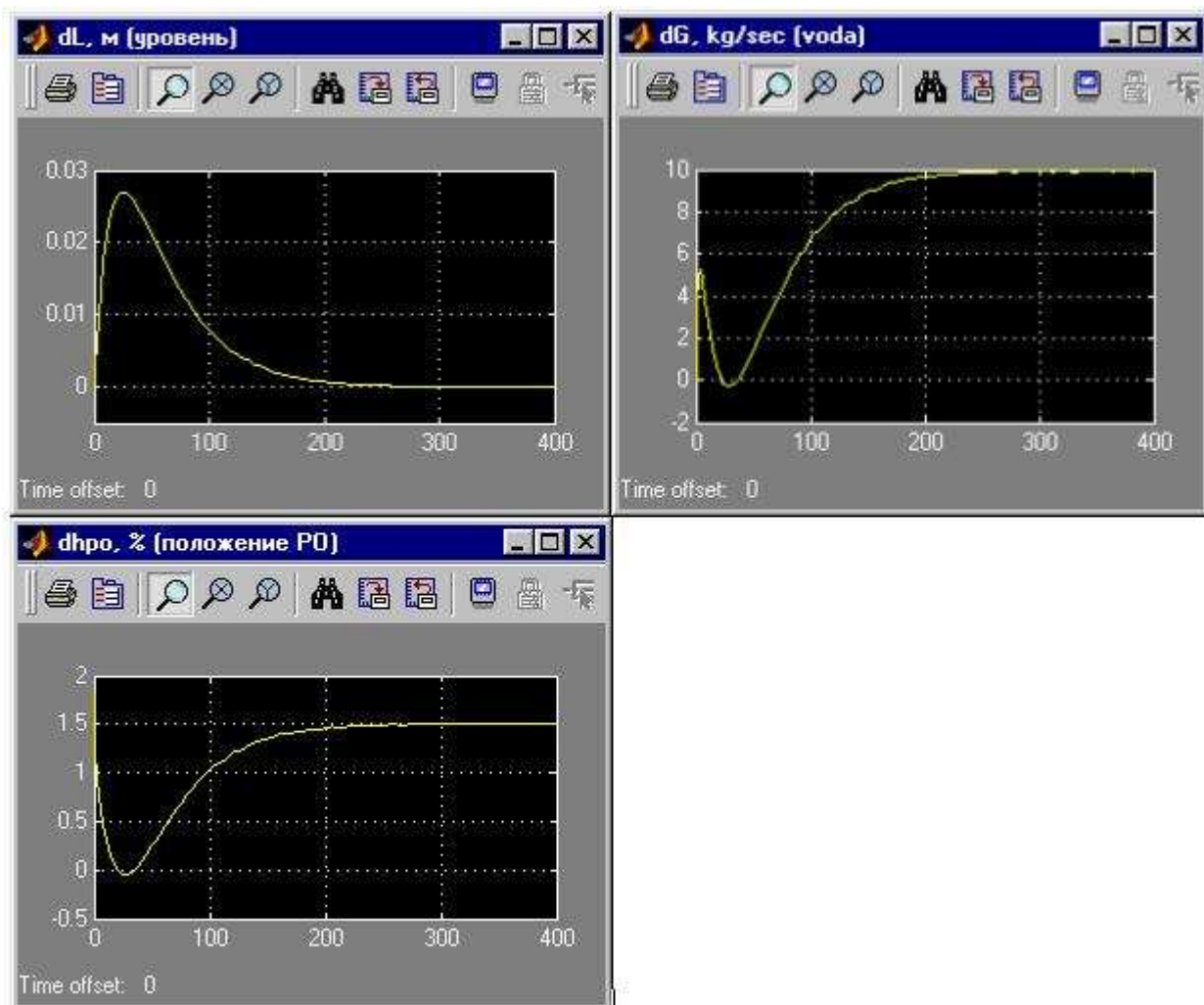


Рисунок 6.2 – Графики переходных процессов в АСР уровня воды в ПГ при подаче скачкообразного возмущения расходом пара ($dD=10$ кг/с)