

$$T_{out} = \frac{1}{M} \cdot \int_0^{\infty} \left( \frac{G_1 \cdot C_1 \cdot T'_1 + G_2 \cdot C_2 \cdot T'_2 - (G_1 \cdot C_1 + G_2 \cdot C_2) \cdot T_{out}}{G_1 + G_2} + T_{nom} \right) dt \quad (2)$$

где:

$M$  – общая масса вещества, которая одновременно может быть в теплообменном агрегате как в трубном, так и межтрубном пространстве;

$T_{out}$  – целевой параметр, температура смеси (которую мы нагреваем) на выходе из теплообменника;

$G_1, G_2$  – расход теплоносителя и расход смеси, которую нагреваем, соответственно;

$C_1, C_2$  – теплоемкость теплоносителя и смеси, которую нагреваем, соответственно;

$T'_1, T'_2$  – температура теплоносителя и смеси, которую нагреваем, на входе в агрегат соответственно;

$T_{nom}$  – номинальная температура смеси на выходе из теплообменника. Это та температура, которую имеет смесь на выходе из агрегата, при условии, что агрегат запущен, прогрет, заполнен жидкостями и по расходам и температурам обоих потоков выставлены регламентные значения.

В качестве примера далее используются следующие исходные данные: пусть согласно регламенту ведения процесса:  $G_1 = 400 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}, G_2 = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}, T'_1 = 90^\circ \text{C}, T'_2 = 20^\circ \text{C}, C_1 = C_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$ .

**! Внимание:** примем  $C_1 = C_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$ , будто в качестве теплоносителя идет горячая рециркуляционная вода, а в качестве смеси, которую нагреваем, – холодная вода. Конечно, теплоемкость вещества зависит от температуры, но данную зависимость в своей работе прописывать не будем.

Зная входные значения по расходам и температурам входных потоков, можно рассчитать, какая будет температура смеси на выходе из теплообменника при идеальных условиях теплообмена:

$$T_{nom} = \frac{G_1 \cdot T'_1 + G_2 \cdot T'_2}{G_1 + G_2} \quad (3)$$

$$T_{nom} = \frac{400 \cdot 90 + 1000 \cdot 20}{400 + 1000} = 40^\circ \text{C}$$

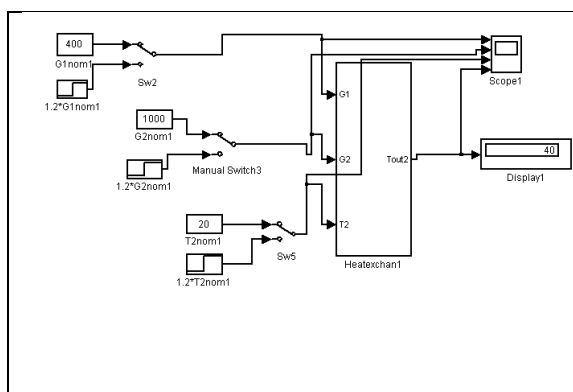
**Внимание!** Не допускается использовать при работе в продукте MATLAB: русскую раскладку при задании имени файла и параметров в модели, пробелов, знаков и цифр в начале имени файла и при задании параметров модели.

После того, как математическая модель будет собрана в среде Simulink MATLAB, необходимо проверить сборку уравнения: подать на вход модели константные регламентные значения по расходам и температурам потоков и, если на выходе модели будет номинальная температура (в случае примера – это  $T_{nom} = 40^\circ \text{C}$ ), то модель идентифицирована верно.

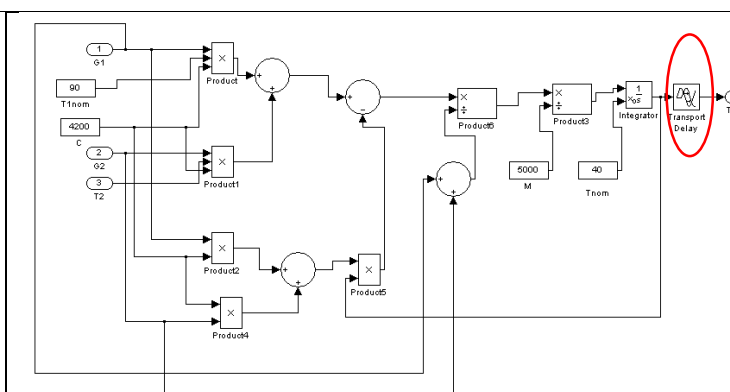
Этап № 2.

На этапе № 2 необходимо собрать уравнение (2) с помощью встроенной библиотеки MatLab'a.

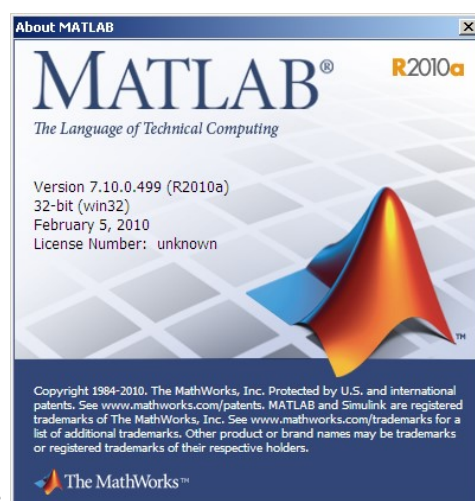
На рис. 4 и 5 представлены соответственно: внешняя оболочка модели (родительская схема) и внутренняя часть модели (подмодель). Во внутренней части модели собрано уравнение теплового баланса, которое описывает идеальный процесс теплообмена (уравнение 2).



На рис. 4. Внешняя оболочка модели (родительская схема).

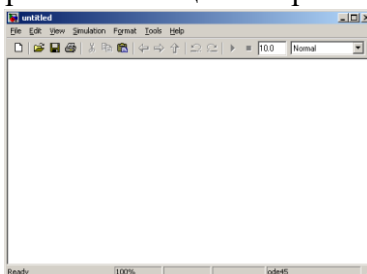


На рис. 5. Внутренняя часть модели (подмодель). Во внутренней части модели собрано уравнение теплового баланса, которое описывает идеальный процесс теплообмена (уравнение 2).




В данных материалах представлены результаты работы в

Чтобы открыть рабочую среду для сборки модели необходимо нажать File-New-Model. Откроется (в зависимости от свойств рабочей станции и версии Матлаба время открытия может



доходить до нескольких минут) окно сборки модели. В этом окне необходимо вести


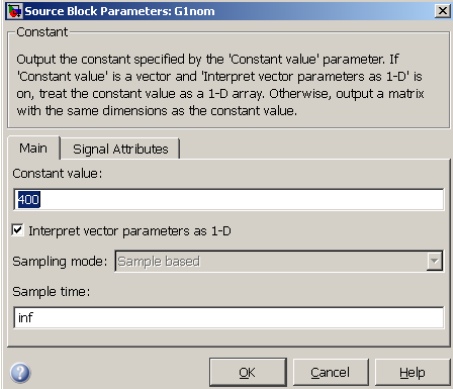

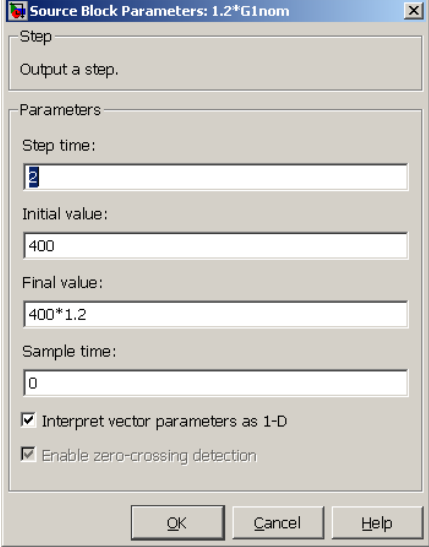



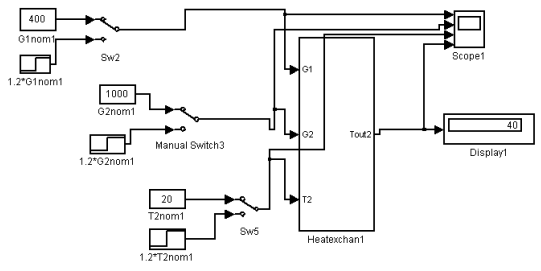

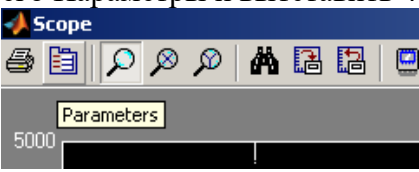
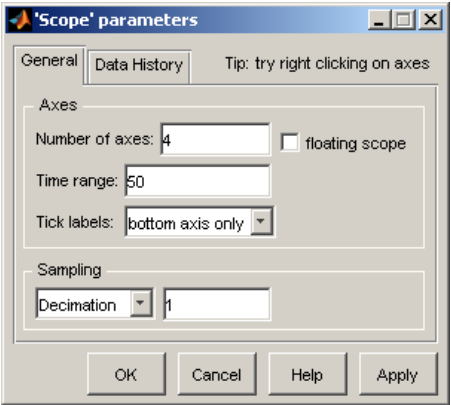

Чтобы открыть библиотеку Simulink, необходимо на панели задач нажать значок . В открывшейся библиотеке в строке поиска вы можете искать необходимые блоки и вытягивать их на окно сборки.





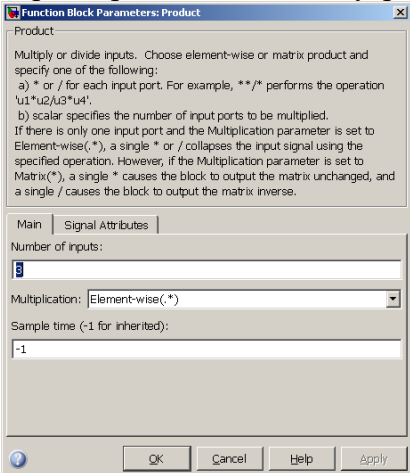
Работают комбинации клавиш Ctrl C, Ctrl V, Ctrl Z, Ctrl X и т.д.

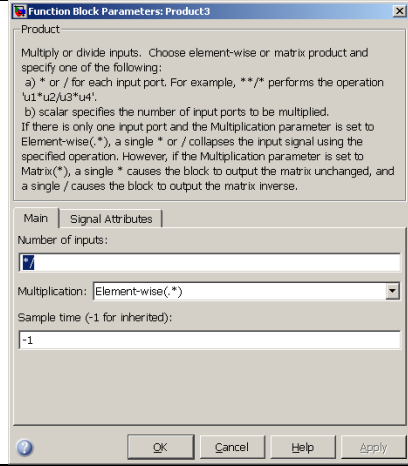

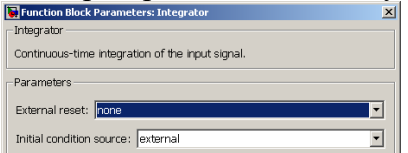

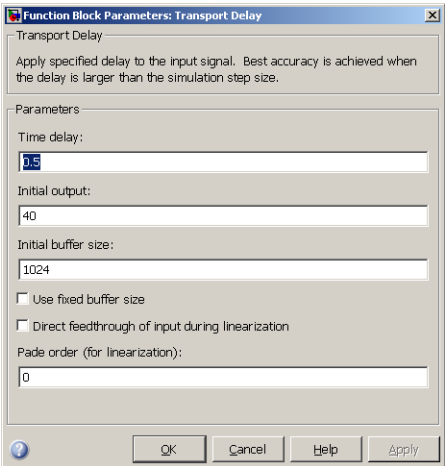


Любые блоки можно переименовывать. Главное не использовать русскую раскладку, пробелы и знаки в начале имени блока-параметра.

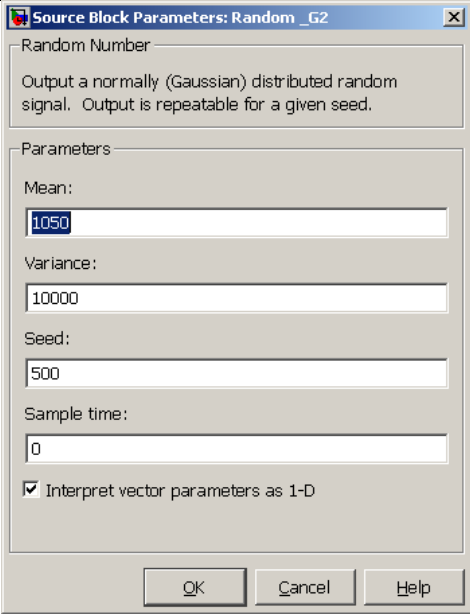


В сборке задействованы следующие библиотечные блоки:

Вид блока	Назначение	Примечание. Внутреннее наполнение блока
	Блок Константа позволяет задавать константные значения.	 <p><b>!</b> <b>Внимание:</b> Рекомендуется переименовать блоки, чтобы было ясно, что за параметр вы задаете. Чтобы переименовать блок, нажмите на его имя два раза и переименуйте.</p>
	Блок Ступенчатого сигнала позволяет имитировать изменение параметра с одного значения на другое в динамике.	 <p>Выставленные в примере значения можно прочитать следующим образом: С момента начала интегрирования (моделирования) до 2 с. значение параметра 400, в момент времени 2 с. и далее значение параметра – на 20% больше (480).</p>

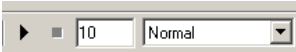

		<p><b>! Внимание:</b> В качестве начально значения используется регламентное исходное значение параметра.</p> <p>Т.е. симулируется изменение значения расхода горячего теплоносителя с 400 до 480 кг/ч в момент времени 2 с, чтобы оценить, как этот параметр сказывается на целевом параметре (температуре смеси на выходе их агрегата).</p>
	<p>Ключ с ручным переключением. Два раза щелкнув мышкой по ключу, можно поменять его положение.</p>	 <p>Например, если ключ в положении «вверх», то на ОУ идет константное значение величины, если ключ в положении «вниз», то на модель ОУ идет ступенчатый сигнал.</p>
	<p>Блок просмотра/вывода графиков/кривых.</p>	<p>Чтобы сделать несколько входов в блоке Scope, необходимо открыть блок, зайти в его Параметры и выставить 4 оси:</p>   <p><b>! Внимание:</b> В новых версиях Матлаба нужно еще нажать кнопку рядом с номером осей и выставить там 1 столбец и 4 строки. После этого нажать ОК.</p> <p>Чтобы после запуска/перезапуска модели увидеть графики, нажмите .</p>

 Display	<p>Блок вывода числовых значений параметров. На момент окончания моделирования в данном блоке показано результирующее значение (в конечный момент интегрирования) выводимой величины.</p>	<p><b>! Внимание:</b> Чтобы от существующей линии чертить еще одну линию, необходимо зажать Ctrl и курсором мыши вести от линии еще одну линию. Работающими линиями являются линии связи черного цвета, красные линии – не рабочие.</p> <p><b>! Внимание:</b> Ставить блок поверх линии или поверх другого блока – это НЕ значит внедрять этот блок в модель.</p>
 Subsystem	<p>Блок Подсистема – это блок, который позволяет включать в себя другие блоки. В данной работе используется, например, при имитации теплообменника с помощью уравнения 2. Т.е. само уравнение, описывающее идеальный процесс теплообмена двух несмешивающихся жидкостей, будет собрано внутри блока Подсистема.</p>	<p><b>! Внимание:</b> В работе блок Подсистема переименован в Heatexchan1.</p> <p><b>! Внимание:</b> Чтобы сделать несколько входов в блок Heatexchan1, необходимо открыть блок (нажать два раза мышкой), откроется среда блока Подсистема. Внутри необходимо сделать 3 входных блока (In1...In3) и 1 выходной (Out1). Далее входа и выхода необходимо переименовать как на рис. 4-5. Внутри блоков входов/выходов НЕ пишем ничего.</p>
 Sum	<p>Блок Сумматор.</p>	<p>Позволяет складывать и вычитать. + и – можно вытаскивать внутри блока (по умолчанию там стоит ++).</p>
 Product	<p>Блок умножения и деления.</p>	<p>Чтобы сделать 3 входа для перемножения параметров, выставите внутри блока:</p>  <p>Чтобы поделить один параметр на другой, выставите внутри блока:</p>

			
	<p>Блок Интегратор позволяет интегрировать то уравнение, которые вы собираете до него (слева при сборке).</p>	<p>Чтобы сделать несколько входов в Интеграторе, вытравите внутри блока:</p> 	
	<p>Блок Запаздывание позволяет симитировать запаздывание в выдаче сигнала на выходе из модели.</p> <p>В реальных условиях рассматриваемый вами агрегат имеет длину в разы превышающую диаметр агрегата, следовательно, если вы на входе ступенчато (резко) измените, например, расход теплоносителя с одного значения на другое, то температура смеси какое-то время не будет меняться вовсе (что связано с длиной агрегата).</p>	<p>В работе выставлено небольшое транспортное запаздывание 0,5 с. Внутренне наполнение блока показано ниже:</p> 	
	<p>Блок Mux позволяет объединять несколько графиков на 1 экран. Понадобится в следующих частях работы</p>		
	<p>Блок Random Number позволяет имитировать в течение времени моделирования изменение параметра рандомно вокруг установленного</p>	<p>В работе внутреннее наполнение блока представлено следующими настройками:</p>	

	<p>среднего значения с заданным СКО. Понадобится в следующих частях работы</p>	 <p><b>! Внимание. Задание: 1. Что необходимо выставить в ячейках Mean, Variance, Seed.</b></p> <p><b>Выставите настройки в соответствии с вашими исходными регламентными значениями.</b></p>
	<p>Блок Gain – это как блок константа со входом и выходом. Внутри блока можно ставить число или проводить калькуляционные манипуляции. Понадобится в следующих частях работы</p>	<p>Используется при моделировании Регулятора (блок Controller_Regulator).</p>
	<p>Блок позволяет брать производную того значения, которое приходит на вход блока. Понадобится в следующих частях работы</p>	<p>Используется при моделировании Регулятора (блок Controller_Regulator).</p>

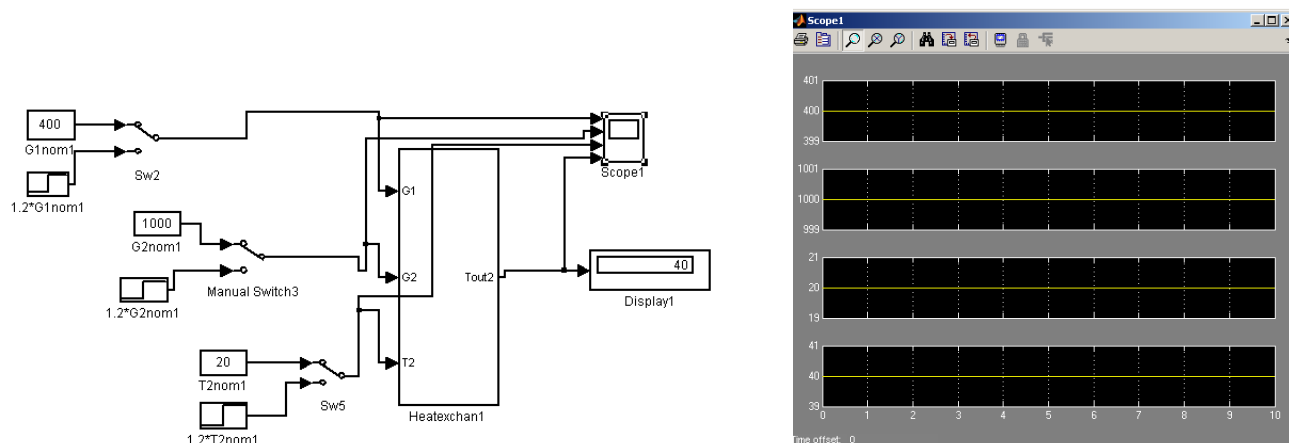
Когда математическая модель агрегата собрана, сохраните файл проекта.

Для запуска процесса моделирования (интегрирования) необходимо воспользоваться панелью задач (ПЗ) . Выставить время моделирования и нажать Play .

### Часть № 3. ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА СОБРАННОЙ МОДЕЛИ:

Эксперимент №1:

Подадим на вход модели константные регламентные значения по расходам и температурам потоков и, если на выходе модели будет (в рассматриваемом примере) номинальная температура  $T_{nom} = 40^0 C$ , модель идентифицирована верно:

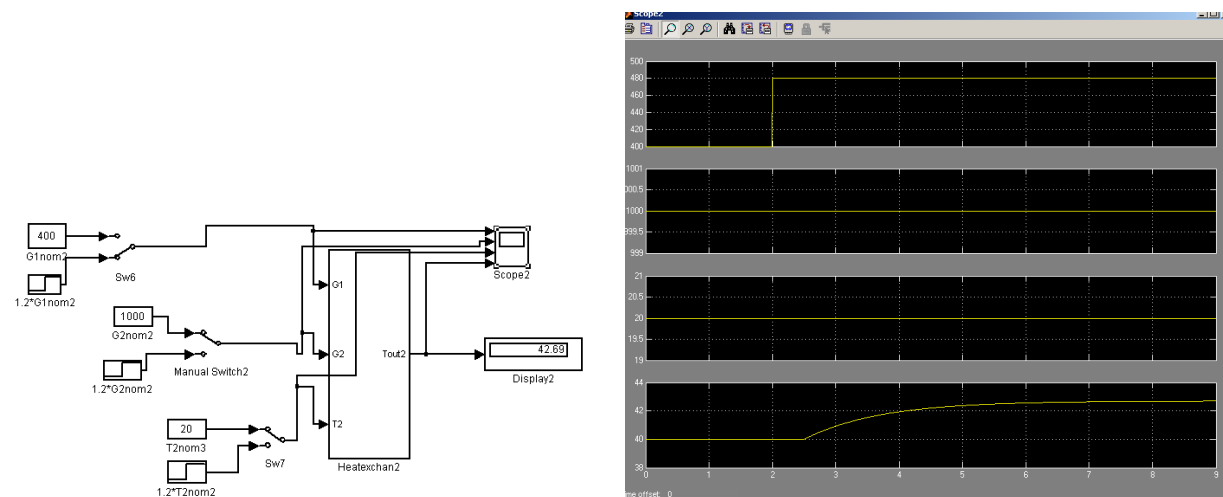


**! Внимание:** Зафиксируйте в отчете положение ключей при проведении эксперимента, значение на дисплее целевого параметра, графики поведения параметров.

### Эксперимент №2:

Посмотрим, как влияет расход теплоносителя в теплообменник на температуру смеси на выходе из него. Сымитируем в динамике резкое (ступенчатое) изменение расхода G1 с одного значения (400 кг/ч) на другое значение (на 20% больше от первоначального значения, от 400 до 480 кг/ч), для этого мы используем блок Step. График переходного процесса целевого параметра по положительному скачку расхода теплоносителя (G1) представлен ниже:

**! Внимание:** У каждого в варианте свои начальные регламентные значения, а, следовательно, свои значения в блоках Step.

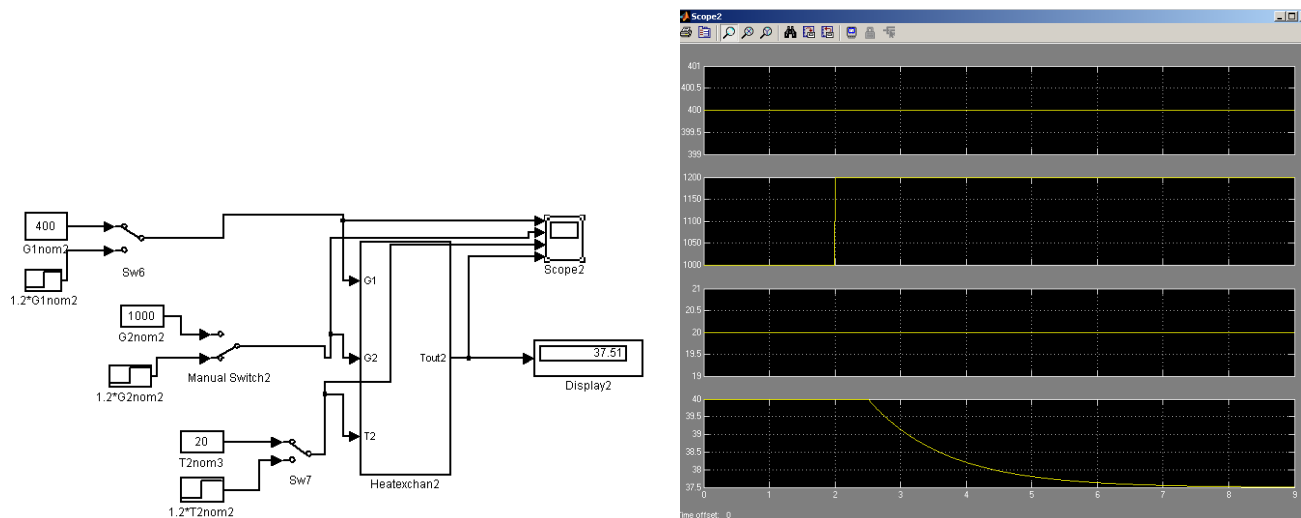


**! Внимание:** Зафиксируйте в отчете положение ключей при проведении эксперимента, значение на дисплее целевого параметра, графики поведения параметров.

### Эксперимент №3:



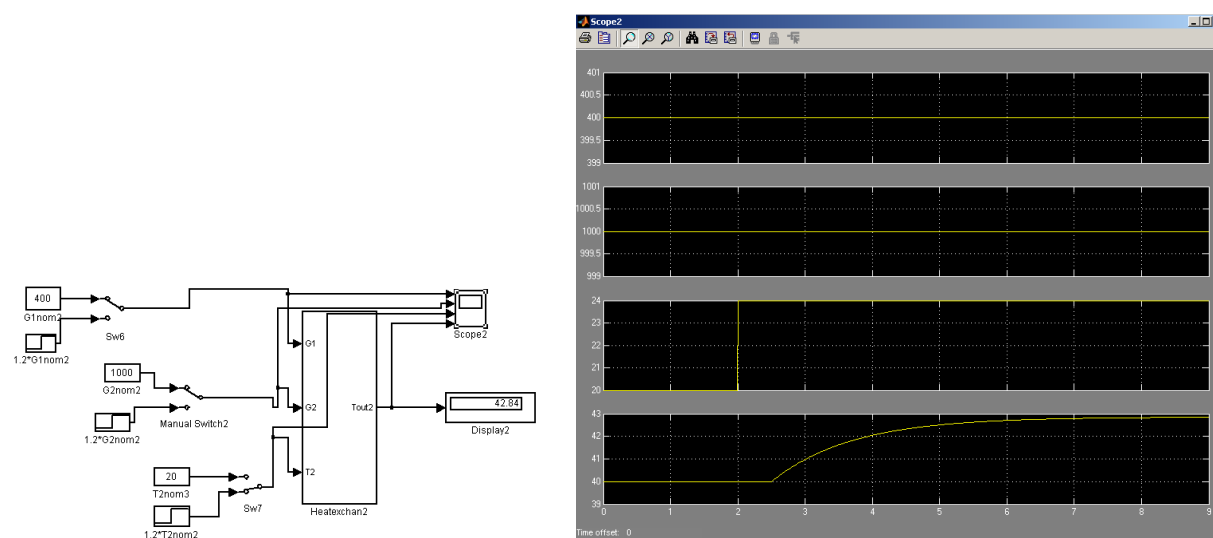
Аналогично исследуйте влияние на целевой параметр (Tout) других входных параметров. Посмотрим, как влияет расход смеси в теплообменник на температуру смеси на выходе из него. Сымитируем в динамике резкое (ступенчатое) изменение расхода G2 с одного значения на другое значение, для этого мы используем блок Step:



**! Внимание:** Зафиксируйте в отчете положение ключей при проведении эксперимента, значение на дисплее целевого параметра, графики поведения параметров.

#### Эксперимент №4:

Посмотрим, как влияет температура смеси, поступающей в теплообменник, на температуру смеси на выходе из него. Сымитируем в динамике резкое (ступенчатое) изменение температуры смеси до нагрева T2 с одного значения на другое значение, для этого мы используем блок Step:



**! Внимание:** Зафиксируйте в отчете положение ключей при проведении эксперимента, значение на дисплее целевого параметра, графики поведения параметров.