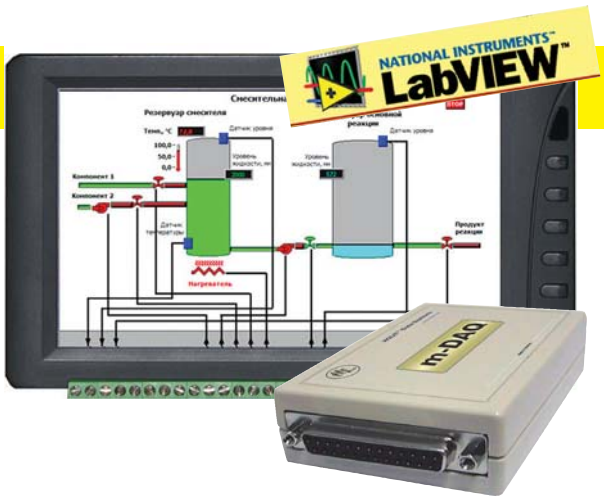
Учебный практикум по LabVIEW



Компьютер, оснащенный средствами В/В и программной поддержки, является необходимым условием для организации учебного практикума по основам технологий сбора данных. Но нужны еще и датчики, исполнительные устройства, усилители, фильтры, источники опорных напряжений, генераторы токов и т.п., а главное – нужен объект, или его макет. Где все это взять и сколько это будет стоить? Очевидно, что стоить это будет немало, времени займет много, а что получится в результате –неизвестно. О том, как все-таки решить эту проблему, решить эффективно, и при "гуманных" затратах и пойдет речь в данной статье.

Если реальный объект управления или его макет отсутствуют, нет датчиков, исполнительных механизмов и согласующих устройств, не отчаивайтесь - их можно программно имитировать. Но программа-модель, назовем ее виртуальный объект, должна воспринимать и формировать вполне реальные сигналы. Для этого следует экипировать Ваш компьютер, к которому уже подключена система сбора данных, еще одним устройством В/В, а лучше - имитатором объектов. Такого рода система SimSys разработана специалистами компании ХОЛИТ™ Дэйта Системс, (Киев).

В SimSys реализовано необычное сочетание двух устройств в одном конструктиве. Первая составляющая - сенсорная TFT LCD-панель размером 7", с разрешением 800x480, достаточно яркая, с хорошими углами обзора, с интерфейсом VGA. Вторая составляющая - микросистема сбора данных с интерфейсом USB. Аналоговый В/В в уровнях ±5В содержит 8 ЦАП и 2-канальный АЦП, а дискретный В/В - это два 8-битовых порта в уровнях ТТЛ. Все сигналы выведены на клеммные соединители винтового типа, которые расположены непосредственно под экраном. А сделано это для того, чтобы реальный проводник, подключенный к основной системе сбора данных с одной стороны, а с другой - к SimSys, превратился в виртуальный и, "проследовав" уже по экрану, "прибыл в пункт назначения": к датчику, заслонке, двигателю и т.п.

Имитатор SimSys подключается к любому имеющемуся компьютеру как второй монитор и вторая система сбора данных. А для того, чтобы он стал действительно виртуальным объектом, необходимо запустить программу-модель. Но прежде ее следует создать, и в соответствии с рекомендациями разработчиков SimSys, это лучше всего сделать в среде LabVIEW. Вот этим давайте и займемся. То, что должно получиться в результате - виртуальный прибор ***SimSys example mixer.vi***, представляет собой модель промышленной смесительной установки ▶ .

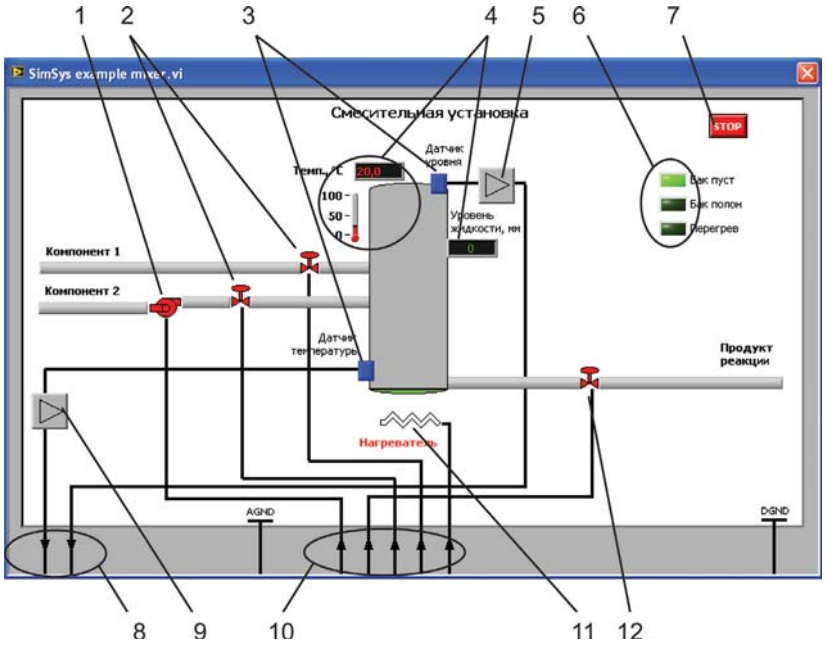
Два жидких компонента смеси подаются в резервуар с помощью насоса (1) и клапанов (2). Далее следует нагрев смеси (11) и слив продукта реакции через третий клапан (12). Контроль уровня жидкости в резервуаре и ее температуры осуществляется с помощью датчиков (3), сигнал с которых после усиления (5, 9) поступает на аналоговые выходы $A_{OUT}0$ и $A_{OUT}1$ (8), и локальные измерители 4, расположенные на объекте. Клапаны, насос и нагреватель управляются линиями дискретного В/В $D_{I/O}B0..B4$ (10). А еще на экране имитатора присутствуют световые индикаторы состояния смесителя (6), кнопка останова (7), а также обозначения клемм "общий" A_{GND} и D_{GND}.

Закрытые клапаны и выключенный насос принимают красный цвет, открытые клапаны и включенный насос - зеленый. Включенный нагреватель окрашен в красный, выключенный - в белый.

Назначение каналов В/В SimSys представлено в таблице:

$A_{OUT}0$	сигнал с датчика температуры, 0..5В
$A_{OUT}1$	сигнал с датчика уровня, 0..5В
$D_{I/O}B0$	состояние насоса подачи компонента 2
$D_{I/O}B1$	состояние клапана слива продукта реакции
$D_{I/O}B2$	состояние клапана подачи компонента 2
$D_{I/O}B3$	состояние клапана подачи компонента 1
$D_{I/O}B4$	состояние нагревателя

активное состояние клапана, насоса, нагревателя соответствует уровню лог.1 на линиях DI/O B0..B4



Моделируемые технические характеристики резервуара: высота - 1000 мм; предельно допустимая температура корпуса - 100°С; максимальное время работы при повышенном давлении - около 30 с. Моделируемые технические характеристики измерительных каналов: диапазон измерения температуры - 0..100°С, а уровня - 0..2000 мм; диапазоны выходных сигналов - 0..5 В, функции преобразований - линейная.

Выход из строя смесительной установки возможен по двум причинам: повышение давления в резервуаре или перегрев резервуара (при достижении предельно допустимой температуры корпуса). В первом случае выход из строя происходит через 30 с после соответствующих предупреждений пользователя. Во втором случае пользователь получает предупреждение при достижении температуры жидкости 80°С. Для исключения повышения давления необходимо не допускать долговременное нахождение бака в заполненном состоянии. А для исключения перегрева бака необходимо следить за режимом работы нагревателя. Скорость нагрева и охлаждения бака зависит от объема находящейся в нем жидкости.

Насос, нагреватель и клапаны можно представить в виде стандартных световых индикаторов из палитры ***LEDs***, однако лучше создадим собственные. Последовательность создания пользовательских графических изображений для клапанов, насоса, нагревателя следующая:

1. В графическом редакторе подготовить изображения открытого/закрытого клапана, включенных/выключенных нагревателя и насоса (всего 6 изображений). Сохранить рисунки в отдельные файлы.

Размеры изображений должны соответствовать величине представляемых на блок-диаграмме элементов управления. Размеры изображений включенного/выключенного элемента управления должны быть равными;

2. Выбрать из палитры индикаторов ***LEDs*** стандартный прямоугольный индикатор ***Square LED***;

3. В выпадающем после нажатия на ***Square LED*** правой кнопкой мыши меню выбрать ***Advanced >> Customize...***;

4. В меню открывшегося окна ***Control*** выбрать ***Operate >> Change to Customize Mode***;

5. Нажать правой кнопкой мыши на индикатор в окне ***Control***, выбрать в появившемся меню ***Import from File...*** . Указать в появившемся диалоговом окне путь к файлу с изображением закрытого клапана;

6. В меню окна ***Control*** выбрать ***Operate >> Change to Edit Mode***;

7. Нажать правой кнопкой мыши на индикатор, выбрать в появившемся меню ***Data Operations >> Change Value to True***;

8. В меню окна ***Control*** выбрать ***Operate >> Change to Customize Mode***;

9. Нажать правой кнопкой мыши на индикатор, выбрать в появившемся меню ***Import from File...*** . Указать в диалоговом окне путь к файлу с изображением открытого клапана;

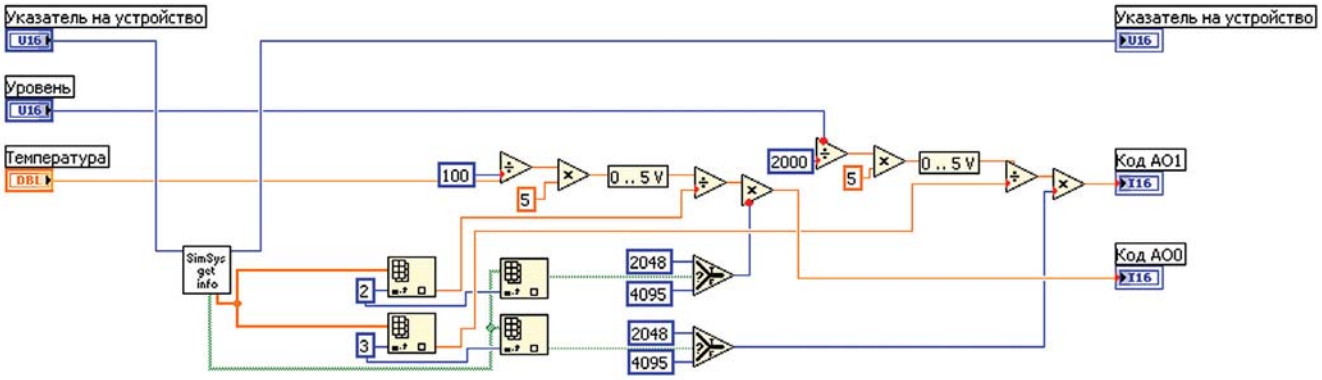
10. Закрыть окно ***Control***. На вопрос о замещении исходного ***Square LED*** в окне внешней панели ответить утвердительно;

11. Повторить выполнение пунктов 3..10 для создания аналогичных пользовательских индикаторов нагревателя и насоса.

Виртуальные объекты на платформе SimSys обеспечивают универсальность и многофункциональность при организации лабораторных практикумов.

Для работы ***SimSys example mixer.vi*** будут использованы два subVI. Подпрограмма ***Control mixer voltage calc.vi*** предназначена для расчета кодов ЦАП-ов SimSys, соответствующих температуре и уровню жидкости. Блок-диаграмма имеет следующий вид:

dl1	U16 Integer	приращение уровня жидкости при подаче первого компонента (клапаны слива и подачи компонента 2 закрыты)
dl2	U16 Integer	приращение уровня жидкости при подаче второго компонента (клапаны слива и подачи компонента 1 закрыты)



Значения уровня и температуры на входах subVI задаются в миллиметрах и градусах соответственно. На первом этапе выполнения ***Control mixer voltage calc.vi*** происходит вызов ***SimSys get info.vi*** из стандартной LabVIEW-библиотеки ***Sim-Sys library.llb***, поставляемой с SimSys. Подпрограмма получает информацию (тип входа и предельное напряжение) о двух первых каналах ЦАП, что достигается извлечением третьего и четвертого элементов из соответствующих массивов на выходе ***SimSys get info.vi***. Извлечение осуществляется с использованием функции ***Index Array***. Далее входные значения ***Control mixer voltage calc.vi*** (температура и уровень) путем элементарных математических преобразований (деления, умножения) переводятся в коды с учетом считанных характеристик ЦАП и моделируемых характеристик смесительной установки. Константы "100" и "2000" задают предельные температуру и уровень жидкости, "5" - предельное напряжение на выходах измерительных каналов. Константы "4095", "2048" задают максимальное значение кода ЦАП для одно- и двуполярного выхода SimSys соответственно.

Необходимо следить, чтобы вызов DLL-функций во всех LabVIEW-подпрограммах производился из одной DLL-библиотеки, а не из ее копий.

В подпрограмме ***Control mixer script.vi*** описан алгоритм изменения состояния смесительной установки. Данная подпрограмма анализирует положение элементов управления и соответствующим образом изменяет текущее состояние смесителя. Этот subVI вызывается в главной программе циклически, при каждом вызове происходит однократное изменение состояния смесителя. На вход ***Control mixer script.vi*** подается следующая информация:

dt_rand	Double	удвоенная амплитуда случайной составляющей изменения температуры жидкости
P1	I16 Integer	состояние насоса для компонента 2
V1	I16 Integer	состояние клапана для компонента 1
V2	I16 Integer	состояние клапана для компонента 2
V3	I16 Integer	остояние клапана для слива продукта реакции
Ht	I16 Integer	состояние нагревателя
dl3	U16 Integer	уменьшение уровня жидкости без подачи компонентов при открытом клапане слива
dt1	Double	удельное приращение температуры при включенном нагревателе
L1	U16 Integer	текущее значение уровня жидкости
T1	Double	текущее значение температуры

Удельное приращение температуры при включенном нагревателе - изменение температуры жидкости в заполненном резервуаре при однократном запуске ***Control mixer script.vi*** , (пренебрегая теплоемкостью пустого бака). Теплоемкость бака равна теплоемкости столба жидкости высотой 10 мм. Формула для расчета изменения температуры жидкости имеет следующий вид:

$$t_{рез} = (\Delta t_{вкл} \cdot h_{заполн}) / (h+h_{экв}) + t_{исх} + i, \qquad (1),$$

где:

$t_{рез}$ - рассчитанная температура жидкости, °C;

$\Delta t_{вкл}$ - удельное приращение температуры при включенном нагревателе, °C;

$h_{заполн}$ - уровень жидкости в заполненном резервуаре, $h_{заполн} = 1000$ мм;

h - текущее значение уровня жидкости, мм;

$h_{экв}$ - высота столба жидкости, теплоемкость которого равна теплоемкости пустого бака, $h_{экв} = 10$ мм;

$t_{исх}$ - текущее значение температуры жидкости, °C;

i - случайная составляющая изменения температуры жидкости, °C.

Формула *(1)* справедлива в случае, если $t_{исх}$ превышает температуру окружающего воздуха, принятую равной 20°C, в противном случае $t_{рез}$ находится в окрестностях 20°C (с учетом $t_{рез}$):

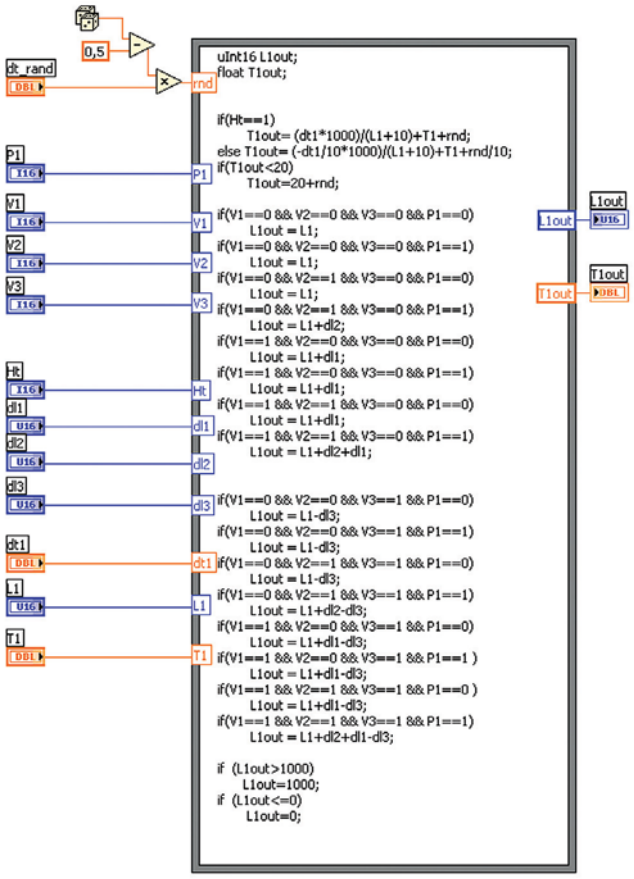
$$t_{рез} = 20 + i \qquad (2)$$

Удельное приращение температуры при выключенном нагревателе примем равным:

$$\Delta t_{выкл} = -0.1 \cdot \Delta t_{вкл} \qquad (3)$$

Т.о, резервуар остывает в 10 раз медленнее, чем нагревается. Выходные переменные subVI ***Control mixer script.vi*** следующие:

L1out	U16 Integer	рассчитанное значение уровня жидкости, мм
T1out	Double	рассчитанное значение температуры, мм



Блок-диаграмма представленного subVI, а точнее текстовый фрагмент кода нуждается в детальных пояснениях. Это несложный кусочек программы, но достаточно трудоемкий.

```
uInt16 L1out;
float T1out;    // объявление выходных переменных
                // расчет температуры жидкости
if(Ht==1)   // если нагреватель включен,
     T1out= (dt1*1000)/(L1+10)+T1+rnd; // рассчитать температуру по (1),
else T1out= (-dt1/10*1000)/(L1+10)+T1+rnd/10; // в противном случае рассчитать температуру по (3)
if(T1out<20)  // если рассчитанное значение меньше температуры окружающего воздуха,
     T1out=20+rnd;  // рассчитать температуру по (2)
                    // расчет уровня жидкости
if(V1==0 && V2==0 && V3==0 && P1==0) // если все клапаны закрыты и насос выключен,
      L1out = L1;     // оставить уровень неизменным
if(V1==0 && V2==0 && V3==0 && P1==1)  // если все клапаны закрыты и насос включен,
      L1out = L1;     // оставить уровень неизменным
if(V1==0 && V2==1 && V3==0 && P1==0)   // если открыт только клапан подачи компонента 2, насос выключен,
      L1out = L1;     // оставить уровень неизменным
if(V1==0 && V2==1 && V3==0 && P1==1)     // если открыт только клапан подачи компонента 2, насос включен,
       L1out = L1+dl2;  // изменить значение уровня на величину dl2
if(V1==1 && V2==0 && V3==0 && P1==0)  // если открыт только клапан подачи компонента 1, насос выключен,
      L1out = L1+dl1;  // изменить значение уровня на величину dl1
      if(V1==1 && V2==0 && V3==0 && P1==1)  // если открыт только клапан подачи компонента 2, насос включен,
       L1out = L1+dl1;  // изменить значение уровня на величину dl1
if(V1==1 && V2==1 && V3==0 && P1==0)  // если открыты только клапаны подачи компонентов, насос выключен,
       L1out = L1+dl1;  // изменить значение уровня на величину dl1
if(V1==1 && V2==1 && V3==0 && P1==1)  // если открыты только клапаны подачи компонентов, насос включен,
      L1out = L1+dl2+dl1;   // изменить значение уровня на сумму величин dl1 и dl2
if(V1==0 && V2==0 && V3==1 && P1==0)  // если открыт только клапан слива продукта, насос выключен,
      L1out = L1-dl3;   // изменить значение уровня на величину (-dl3)
if(V1==0 && V2==0 && V3==1 && P1==1)  //если открыт только клапан слива продукта, насос включен,
       L1out = L1-dl3;  // изменить значение уровня на величину (-dl3)
if(V1==0 && V2==1 && V3==1 && P1==0)  // если открыты клапаны подачи компонента 2 и слива продукта, насос выключен,
       L1out = L1-dl3;  // изменить значение уровня на величину (-dl3)
      if(V1==0 && V2==1 && V3==1 && P1==1)  // если открыты  клапаны подачи компонента 2 и слива продукта, насос  включеен
      L1out = L1+dl2-dl3;  // изменить значение уровня на значение (dl2-dl3)
if(V1==1 && V2==0 && V3==1 && P1==0)   // если открыты клапаны подачи компонента 1 и слива продукта, насос выключен,
      L1out = L1+dl1-dl3;  // изменить значение уровня на значение (dl1-dl3)
if(V1==1 && V2==0 && V3==1 && P1==1 )   // если открыты клапаны подачи компонента 1 и слива продукта, насос включен,
      L1out = L1+dl1-dl3;  // изменить значение уровня на значение (dl1-dl3)
if(V1==1 && V2==1 && V3==1 && P1==0 )     // если открыты все клапаны, насос выключен,
      L1out = L1+dl1-dl3;  // изменить значение уровня на значение (dl1-dl3)
if(V1==1 && V2==1 && V3==1 && P1==1)      // если открыты все клапаны, насос включен,
       L1out = L1+dl2+dl1-dl3;  //изменить значение уровня на значение (dl2+dl1-dl3)
if (L1out>1000)   // если рассчитанное значение уровня > 1000 мм,
      L1out=1000;  // оставить рассчитанное значение равным 1000 мм
if (L1out<=0)     // если рассчитанное значение уровня <= 0 мм,
       L1out=0;     // оставить рассчитанное значение равным 0 мм.
```

А теперь рассмотрим программу ***SimSys example mixer.vi*** во всей ее красе. Основа ее блок-диаграммы - структура ***Flat Sequence***, содержащая четыре последовательно исполняемых фрагмента:

1 установка переменных, характеризующих состояние смесительной установки и программы в начальные состояния (1);

2 получение количества SimSys, подключенных к компьютеру, открытие последнего подключенного (2);

3 основная часть программного кода (3..16). Выполняет анализ текущего состояния управляющих линий $D_{I/O}$ B0..B4, графически представляет полученную информацию с использованием специальных пользовательских индикаторов клапанов и т.п., рассчитывает изменение текущего состояния смесительной установки, устанавливает на каналах A_{OUT} 0 и A_{OUT} 1 SimSys напряжения, соответствующие температуре и уровню жидкости. Фрагмент 3 выполняется циклически до момента останова с помощью кнопки ***stop*** (16);

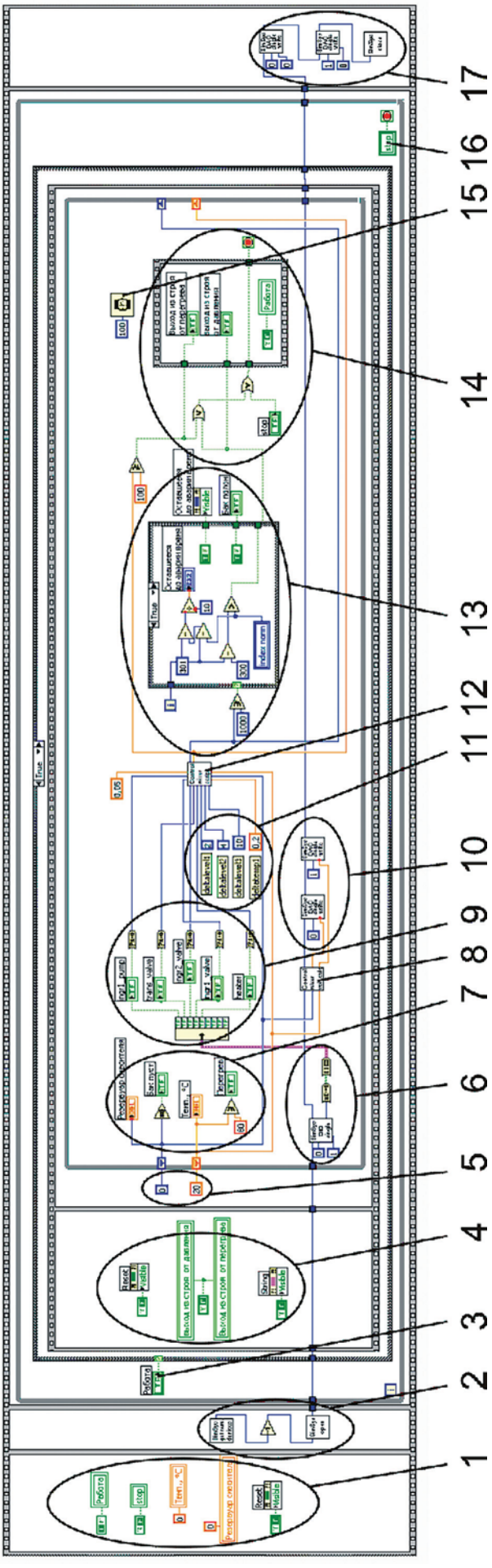
4 установка нулевого напряжения на каналах A_{OUT} 0 и A_{OUT} 1, закрытие модуля.

Далее опишем фрагменты 1..4 немножко поподробнее. Фрагменты **1** и **2** выполняются только один раз, при запуске ***SimSys example mixer.vi***. Используемые переменные состояния (***Работа***, ***Резервуар смесителя*** и др) переводятся в исходные состояния (1), а с помощью функций ***SimSys get number devices.vi***, ***SimSys open.vi*** стандартной LabVIEW-библиотеки ***SimSys library.llb*** происходит открытие модуля и получение указателя на него (2). В случае подключения к компьютеру нескольких модулей происходит открытие первого по счету, что задается установкой константы "0" на вход ***SimSys open.vi***.

Резервуар смесителя	Double	уровень жидкости, 0..1000 мм
Температура	Double	температура жидкости, 0..100°C
Работа	Bool	состояние смесительной установки. Режим выхода из строя осуществляется с помощью фрагмента кода (13). Перевод системы в исправное состояние осуществляется с помощью кнопки **Reset** (невидимой при исправной работе) на лицевой панели. True - установка исправна, False - установка вышла из строя.
Stop	Bool	остановка работы программы, т.е. циклического выполнения фрагмента 3 структуры **Flat Sequence** (16), переход к фрагменту 4. True - остановка, False - работа.

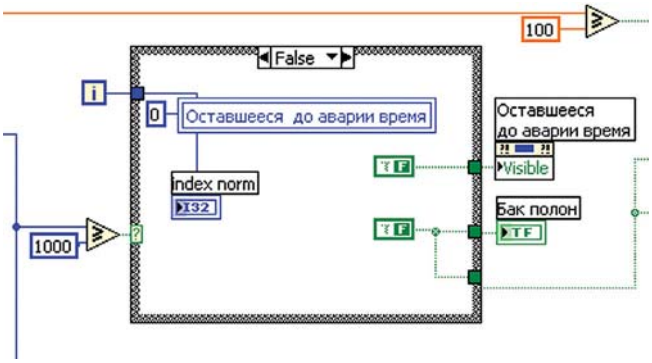
В фрагменте **3** представлена циклически выполняемая основная часть программного кода. Функции помещены в структуру ***While Loop***, выход из которой производится вручную. При выполнении первого этапа тела цикла происходит чтение состояний дискретных линий $D_{I/O}$ B0..B4 путем вызова ***SimSys DIO single.vi*** из стандартной LabVIEW-библиотеки ***SimSys library.llb***, (6). Полученные данные представляются графически с помощью индикаторов (9).

Начальные значения температуры и уровня жидкости для циклического выполнения фрагмента **3** ***Flat Sequence*** выбраны равными 20°C и 0 мм соответственно (5). Текущие значения температуры и уровня постоянно выводятся на лицевую панель (7) вместе с дополнительными уведомлениями о перегреве при достижении температуры 80°C, отсутствии жидкости в резервуаре и повышении давления.



Далее происходит вызов подпрограммы ***Control mixer script.vi***, реализующей перерасчет значений уровня и температуры (12). Константы, задающие приращения уровня жидкости и ее температуры (для заполненного бака) (11), подбираются опытным путем. Константа "0,05" задает удвоенную амплитуду случайной составляющей изменения температуры. Рассчитанные значения подаются на сдвиговые регистры на границах While Loop и будут являться исходными данными при следующем выполнении тела цикла. Исходные значения температуры и уровня также записываются на каналы A_{OUT} 0 и A_{OUT} 1 SimSys (10), после предварительного их пересчета в значения кода с помощью ***Control mixer voltage calc.vi*** (8).

С помощью фрагмента кода (13) производится анализ предаварийного состояния при повышении давления в резервуаре. В частности, происходит сравнение текущего значения уровня с константой "1000". Переменная ***index norm*** содержит номер последней итерации, при которой давления было нормальным. Индикатор ***Оставшееся до аварии время*** служит для вывода соответствующей информации в секундах на лицевую панель.

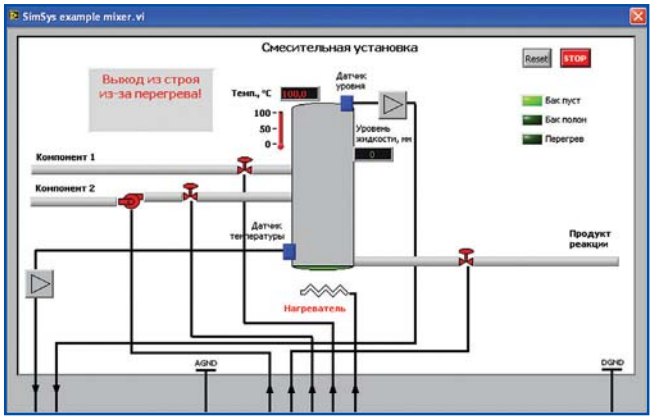


С помощью фрагмента кода (14) происходит запись причины выхода из строя для последующего вывода ее на экран. При аварии в одну из переменных ***Выход из строя от перегрева***, ***Выход из строя от давления*** записывается значение True. Анализ этих переменных происходит в режиме неисправного состояния системы и чуть детальнее - ниже.

Переход к выполнению фрагмента 4 структуры ***Flat Sequence***, т.е. остановке ***SimSys example mixer.vi*** выполняется при нажатии на кнопку ***stop*** (16). Для контроля времени выполнения тела цикла, представленного во фрагменте 2, устанавливается временная задержка, равная 100 мс, подбираемая опытным путем. Установка задержки осуществляется путем вызова функции ***Wait (ms)*** (15).

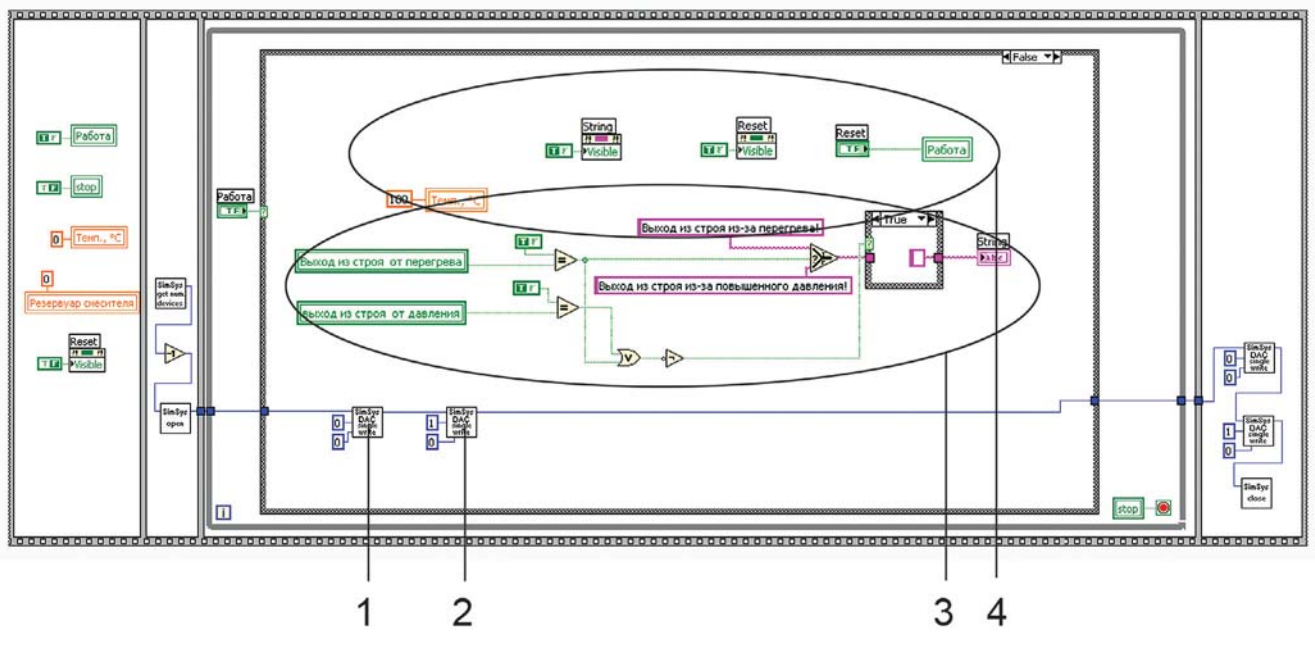
При выполнении фрагмента **4** путем вызова ***SimSys DAC single write.vi***, ***SimSys close.vi*** происходит установка нулевого напряжения на каналах A_{OUT} 0 и A_{OUT} 1 SimSys и закрытие последнего (17). Установка нулевого напряжения необходима для корректной остановки SimSys, когда программа контроля не используется. Фрагмент 4 выполняется только один раз, т.е. при остановке ***SimSys example mixer.vi***.

Лицевая панель программы в режиме аварии имеет следующий вид:



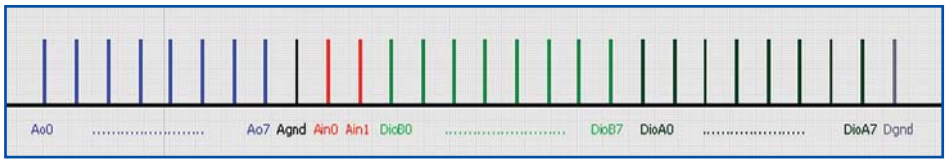
В данном режиме (при установке ***Работа*** = False) происходит установка нулевого напряжения на каналах A_{OUT} 0 и A_{OUT} 1 (с помощью фрагментов кода 1 и 2), информирование пользователя об аварии (3) с указанием ее причины, анализ значения переменной ***Reset***, предназначенной для ручного перевода модели в рабочий режим (4). И все это отображено на блок-диаграмме аварийной ситуации ▼.

Программа модели смесительной установки практически готова. Остается только вписать ее интерфейсную



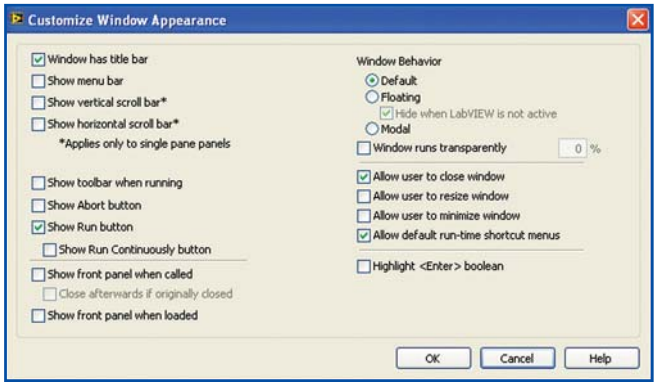
панель в шаблон ***SimSys pattern.vi*** и выполнить ряд конфигурационных процедур.

Интерфейсная панель шаблона представляет собой поле размерами 800x480 с графическим изображением линий подключения SimSys. Наименования линий представлены ниже и видны при вертикальной прокрутке внешней панели:



При запуске ***SimSys pattern.vi*** полосы прокрутки и меню программы отсутствуют, кнопку остановки программы необходимо создавать вручную, а блок-диаграмма шаблона, естественно, пуста.

После редактирования интерфейсной панели следует из меню внешней панели вызвать ***File >> VI Properties***. В категории ***Window Size*** установить следующий размер панели: ширину - 800, высоту - 480 точек. В категории ***Window Appearance*** выбрать пункт ***Custom***, нажать ***Customize***. В появившемся окне настроек запретить изменение размера и минимизацию окна, показ меню, полос прокрутки, кнопки останова и циклического выполнения VI.



Для автоматической развертки запущенного VI на весь экран SimSys необходимо установить следующие настройки. В категории ***Window Run-Time Position*** установить ***Maximized*** в перечне ***Position***. В случае использования SimSys как дополнительного монитора задать его в перечне ***Monitor***.

Ну вот, собственно, и все. Программа-модель объекта для имитатора SimSys готова, остается только ее оттестировать. Пусть эта последняя фаза разработки будет Вашим домашним заданием. А исчерпывающую информацию о SimSys и прилагаемым средствам программной поддержки Вы найдете на сайте *www.holit.ua*.

В рамках следующего практикума предлагается заняться разработкой программы управления имитатором смесительной установки с помощью микросистемы сбора данных m-DAQ.

Материал подготовлен студентами старших курсов Национального технического Университета Украины "Киевский политехнический институт" при технической поддержке ООО "ХОЛИТ Дэйта Системс" (Киев).

e-mail: support@holit.ua