

## Самостоятельная работа 2

### *Задание 1*

#### **Обзор возможностей программы LabVIEW при проведении физического эксперимента.**

Для поддержки компьютерного моделирования разработаны пакеты прикладной математики, например, Mathcad, MATLAB, LabVIEW, VisSim и др. Они позволяют создавать формальные и блочные модели как простых, так и сложных процессов и устройств и легко менять параметры моделей в ходе моделирования. Модели чаще всего представлены графическими блоками, набор и соединение, которых задаются диаграммой модели.

В своем развитии LabVIEW предоставила пользователям широкую гамму инструментов, которые образуют графическую платформу программного обеспечения для моделирования, управления и тестирования, обеспечивающую пользователям конкурентные преимущества в трех своих базовых областях применения:

- автоматизированных системах измерения и тестирования;
- промышленных системах контроля и управления;
- проектировании и отладке встраиваемых систем.

Используя открытую среду программирования LabVIEW для воплощения разработанных алгоритмов и обмена данными со средствами моделирования, можно модернизировать средства разработки и сократить временные затраты на всех этапах жизненного цикла изделий.

Для удовлетворения текущих и перспективных потребностей пользователей LabVIEW обеспечивает:

- поддержку различных архитектур и платформ исполнения, таких, как персональные, промышленные, портативные и встраиваемые компьютеры, в том числе многопроцессорные системы с ПЛИС и цифровыми сигнальными процессорами, а также системы, работающие под управлением ОС жесткого реального времени;
- мониторинг и управление распределенными узлами системы из единой интерактивной оболочки (LabVIEW Project);
- упрощение передачи данных между различными вычислительными узлами при помощи новой Переменной Общего Доступа (LabVIEW Shared Variable);
- поддержку множества вариантов синхронизации и тактирования узлов распределенных систем через новую технологию детерминированного Ethernet.

## *Моделирование в LabVIEW*

Краткий курс по основам программирования в среде LabVIEW предназначен для студентов 1-2 курсов, обучающихся по инженерным специальностям. Он предваряет внедрение современных методов изучения естественнонаучных и инженерных дисциплин, связанное с использованием высоких информационных технологий для моделирования и визуализации изучаемых законов и явлений. При этом учебные лабораторные и демонстрационные работы дополняются элементами математического моделирования, предварительно выполняются как многофакторные численные исследования, и предусматривают возможность решения обратных задач – построения оптимальных математических моделей по результатам экспериментальных исследований. На практике последняя постановка требует одновременного и непрерывного измерения различных физических и технологических параметров, таких как перемещение, скорость движения, температура, статическое и динамическое давление, расходы и уровни жидкости, локальные скорости воздушного потока и т.п. Основной идеей построения подобных систем сбора, обработки и визуализации экспериментальных данных служит возможность модификации обычного персонального компьютера до уровня многоканальной информационно - измерительной системы с высокими метрологическими характеристиками.

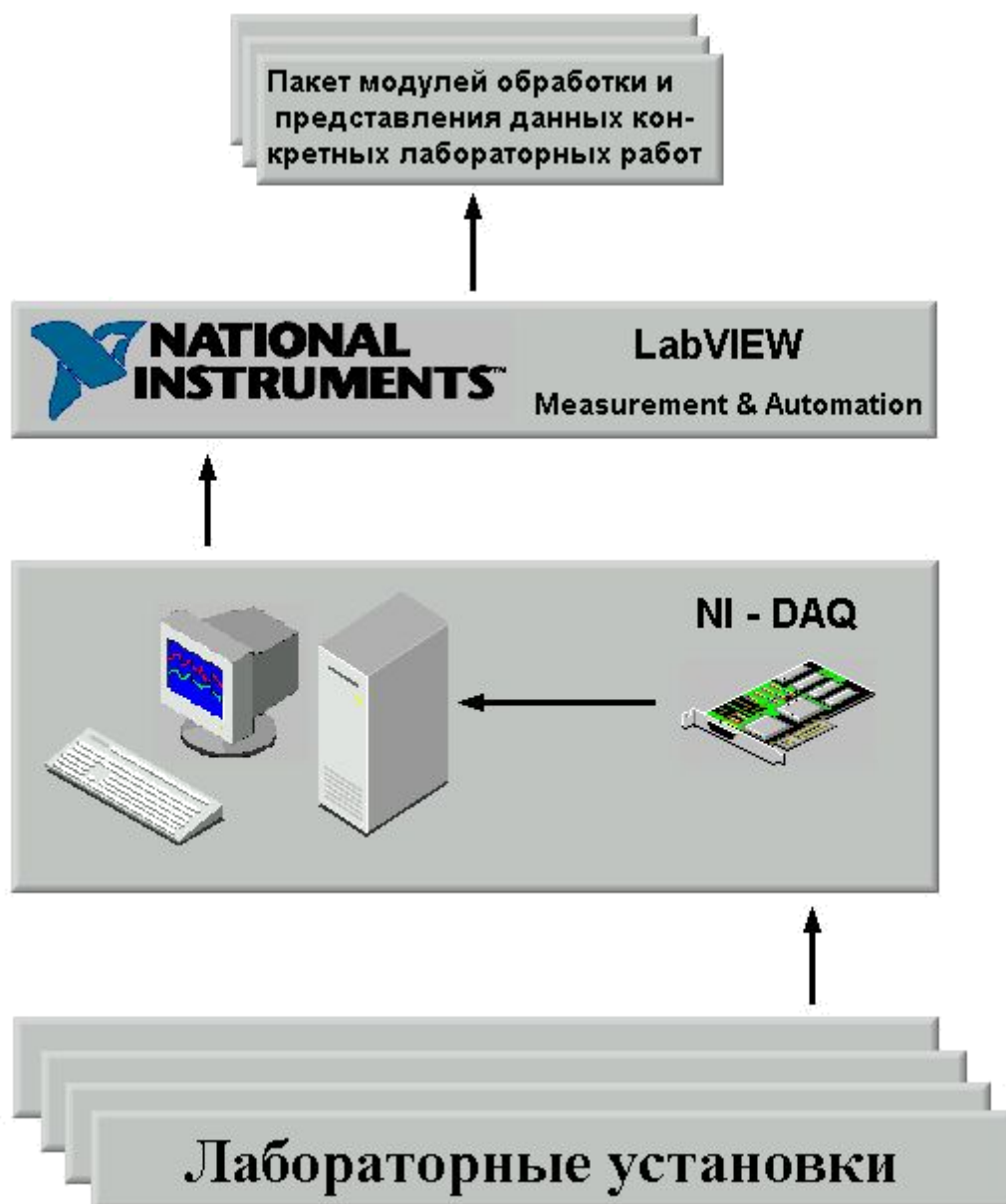
Первый уровень платформы технических и программных средств, используемых для автоматизации лабораторного оборудования – это объекты исследования, то есть отдельные лабораторные установки, оснащенные измерительными датчиками – преобразователями физических величин в электрические сигналы.

Следующий уровень – платы автоматизированного сбора данных, преобразующие аналоговые сигналы датчиков в цифровой код; компьютер и измерительные сервисы. Последние представляют собой программные модули, обеспечивающие осуществление измерений доступным для пользователя способом. В их состав входят драйверы измерительных и вспомогательных приборов и инструменты для их калибровки.

Третий уровень представляет программная среда, в которой создаются и работают модули, автоматизирующие процессы измерений и обработки данных.

Необработанные данные редко содержат полезную информацию. Вначале они должны быть преобразованы к виду, удобному для анализа. Для этого необходимо убрать шумовые искажения, скорректировать аппаратные ошибки, компенсировать возмущающие воздействия. Затем должны быть разработаны специальные программы управления экспериментом и управления полученными информационными массивами, способы

представления данных для каждой работы. Это четвертый уровень платформы (рис. 42).



**Рис. 42.** Платформа технических и программных средств, использованная для автоматизации измерений и обработки данных

При поочередном подключении автоматизированные лабораторные установки обслуживаются одним компьютером. Учебная измерительная система позволяет одновременно измерять 8 различных параметров и осуществлять управление экспериментом по 2-м каналам. Электрические сигналы с датчиков подаются на 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь с USB выходом. Плата сбора данных преобразует токи и измеряемые напряжения в цифровой код с точностью до 0,5 % от действующего значения.

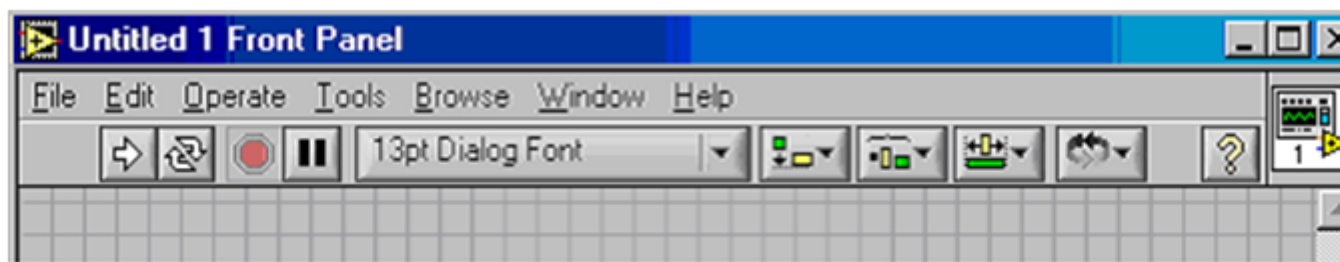
Полученный цифровой сигнал обрабатывается в среде Lab-VIEW. Результаты измерений выводятся на лицевую панель монитора компьютера или

мультимедийный экран в виде показаний обычных стрелочных или цифровых приборов, осциллографов и самописцев. Непосредственно во время эксперимента строятся графики изменения параметров во времени, а по его окончании – их зависимости друг от друга или математические модели исследуемых явлений. Благодаря возможностям предварительного моделирования, визуального наблюдения процессов, в том числе и скрытых от непосредственного наблюдения, значительно повышается информативность выполняемых лабораторных работ. Это позволяет отказаться от использования традиционной измерительной техники, при которой по-прежнему остаются рутинные операции считывания результатов измерений, преобразования их в цифровые величины, ввода полученных массивов в стандартные программы статистической обработки и т.д. В них обычно теряется часть полезной информации, появляются дополнительные погрешности, непродуктивно используется время, многие эксперименты вообще неосуществимы. Следует также отметить, что процесс обучения связан, в первую очередь, с развитием способностей студентов самостоятельно познавать новые сложные явления и использовать эти знания на производстве. Этому в значительной мере способствует совершенствование моделирования лабораторного эксперимента. Современные компьютерные технологии позволяют решать эту задачу наиболее эффективным образом.

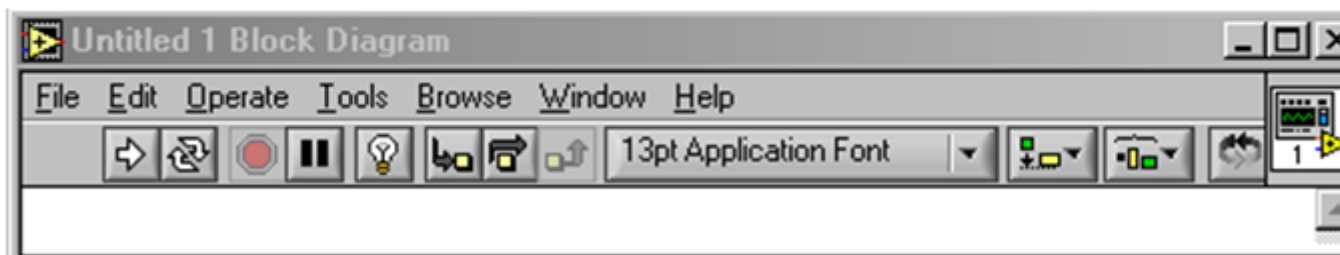
### ***Создание, редактирование и отладка программ в среде LabVIEW***

Для создания собственных программ в среде LabVIEW используются следующие инструменты: Лицевая панель, Блок-диаграмма, палитры элементов управления и отображения данных и палитры функций. При запуске LabVIEW из меню стартового диалогового окна командами New ▾Blank VI открываются два окна – Лицевая панель и Блок-диаграмма (рис. 43 и 44).

В правом верхнем углу каждого окна находится пиктограмма для архивирования созданной программы в качестве нового компьютерного прибора. Здесь же размещена традиционная для приложений Windows полоса главного меню с одинаковыми для обоих окон пунктами: File, Edit, Operate, Tools, Browse, Windows, Help. Краткое описание функций пунктов главного меню приведено в табл. 12.



*Рис. 43. Лицевая панель*







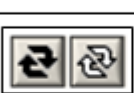







*Рис. 44. Панель блок-диаграмм*

Краткое описание функций главного меню в Таблице 12.

Пункты меню	Перевод	Функции
File	Файл	Открытие, закрытие, сохранение и печать прог
Edit	Правка	Редактирование панелей, поиск объектов
Operate	Управление	Запуск и прерывание выполнения программ
Tools	Инструменты	Управление библиотеками программ
Browse	Просмотр	Просмотр иерархий программ
Windows	Окно	Отображение окон и палитр LabVIEW
Help	Справка	Дополнительная информация об элементах и функциях LabVIEW

Ниже полос главного меню расположены линейки инструментов, которые различны для Лицевой панели и Блок-диаграммы за счет дополнительных кнопок для отладки программ (табл. 13).

Назначение кнопок инструментальных панелей в Таблице 13.

Пиктограмма	Назначение кнопок инструментальных панелей
	Кнопка <b>Запуск (Run)</b> при правильно составленной программе
	Вид кнопки <b>Запуск (Run)</b> при наличии ошибок в программе
	Вид кнопки <b>Запуск (Run)</b> в процессе выполнения программы
	Вид кнопки <b>Запуск (Run)</b> в процессе выполнения подпрограммы
	Кнопка <b>Непрерывный (повторяющийся) Запуск (Run Continuously)</b>
	Кнопка <b>Остановка выполнения программы (Abort Execution)</b>
	Кнопка <b>временной паузы выполнения программы (Pause)</b>
	<b>Анимация потоков данных при отладке программ</b>
	<b>Начало пошагового выполнения отладки программ</b>
	<b>Пошаговое выполнение</b>
	<b>Выход из пошагового выполнения программ</b>
	<b>Редактирование текста (шрифт, размер, стиль и текст)</b>











Свободное пространство каждой панели образует рабочую область, снабженную горизонтальной и вертикальной полосами прокрутки. При разработке программ в рабочей области Лицевой панели размещаются визуальные элементы управления и индикации, формирующие интерфейс пользователя, а на панели Блок-диаграммы составляется графический код создаваемого приложения. Для одновременного отображения на экране монитора обеих панелей целесообразно использовать команду:

Windows◇Title Left and Right.

Разработка программ осуществляется с помощью трех вспомогательных палитр (рис. 45):

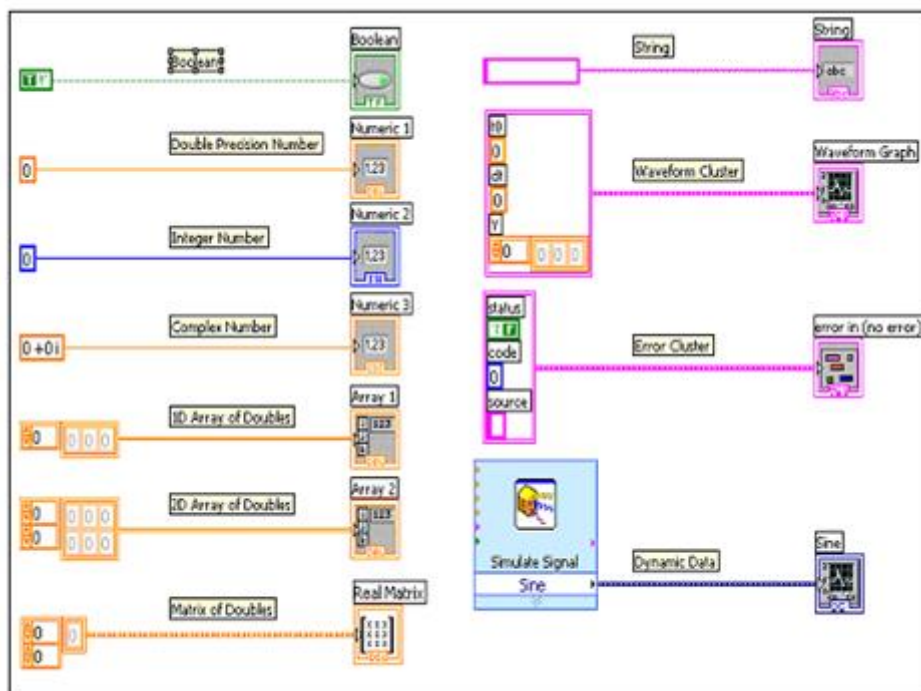
- палитры элементов управления и индикации (Controls Palette) на Лицевой панели;
- палитры функций (Functions Palette) на Блок-диаграмме;
- палитры инструментов (Tools Palette), доступной на обеих панелях.

Инструменты имеют следующее назначение:

-  – инструмент УПРАВЛЕНИЕ – предназначенный для изменения значения элементов управления или ввода текста;
-  – ПЕРЕМЕЩЕНИЕ – служащий для активизации, перемещения или изменения размеров объектов;
-  – ВВОД ТЕКСТА – служащий для редактирования текста и создания свободных меток;
-  – СОЕДИНЕНИЕ – создает проводники данных, соединяя объекты на блок-диаграмме;
-  – ВЫЗОВ КОНТЕКСТНОГО МЕНЮ - вызывает контекстное меню соответствующего объекта с помощью щелчка левой кнопки мыши;
-  – БЫСТРАЯ ПРОКРУТКА ЭКРАНА – создана для просмотра окна без использования полосы прокрутки;
-  – ВВОД КОНТРОЛЬНОЙ ТОЧКИ – позволяет расставлять контрольные точки в функциях, узлах, проводниках данных, структурах и приостанавливать в них выполнение программы;
-  – УСТАНОВКА ОТЛАДОЧНЫХ ИНДИКАТОРОВ – показывает текущее значение переменных в проводниках блок-диаграммы, используется при отладке программ для просмотра промежуточных значений;
-  – КОПИРОВАНИЕ ЦВЕТА – предназначен для копирования и последующей вставки цвета;
-  – РАСКРАШИВАНИЕ – позволяет изменить цвет объекта и отображает текущий фон.

## Типы и проводники данных

В среде LabVIEW используются различные типы данных (рис. 46, табл. 14)



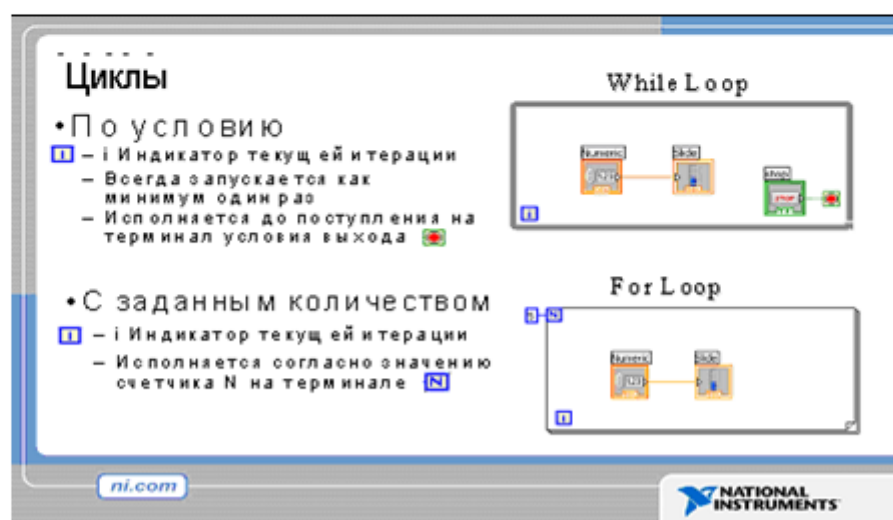


**Рис. 46.** Типы данных в LabVIEW – логические переменные, целые и действительные числа, одно- или n- мерные массивы, матрицы, строковые и динамические данные

Для организации повторяющихся вычислений используются структуры цикла с заданным числом итераций и цикла, прекращающего свою работу при наступлении того или иного события в тех случаях, когда число итераций заранее не известно (рис. 47).

Типы данных в LabVIEW в Таблице 14:

Тип данных	Цвет	Значение по умолчанию
логический	зеленый	ложь
число с плавающей запятой	оранжевый	0,0
комплексное число	оранжевый	0,0+і0,0
целое число	синий	0
строка	розовый	пустая
кластер (включает разные типы данных)	розовый	-
динамический (информация о сигнале – имя, дата и время получения данных)	фиолетовый	-
массив (включает тип данных в скобки и принимает цвет данных этого типа)	различный	-



**Рис. 47.** Структуры циклов в LabVIEW

## Моделирование физических процессов

### в инженерной среде LabVIEW

Рассмотрим возможности среды для быстрого создания профессионального интерфейса и обработки данных на примере разработки программы моделирования политропного процесса сжатия воздуха. Процесс происходит в цилиндре объемом  $V_0 = 1$  л с начальным давлением  $P_0 = 100$  кПа и температурой  $T_0 = 300$  К при степени сжатия  $\lambda = V_0/V_K = 5$ .

Результаты вычислений необходимо отобразить в виде индикаторов традиционных приборов, служащих для измерения  $V$ ,  $P$ ,  $T$ , графиков их изменения по времени и  $P$ - $V$  диаграмм исследованного процесса.

Процессом называется любое изменение параметров состояния среды. Обычно изменяются все три параметра, связанные между собой уравнением состояния. Для идеальных газов, к которым относится воздух, уравнение состояния имеет вид  $PV = RT$ .

Существует ряд процессов, в течение которых сохраняется постоянное отношение выполненной работы и количества тепла, участвующего в теплообмене с внешней средой. Такие процессы называются политропными. Для них выполняется дополнительное соотношение  $PV^n = \text{const}$ , где  $n$  - показатель политропы.

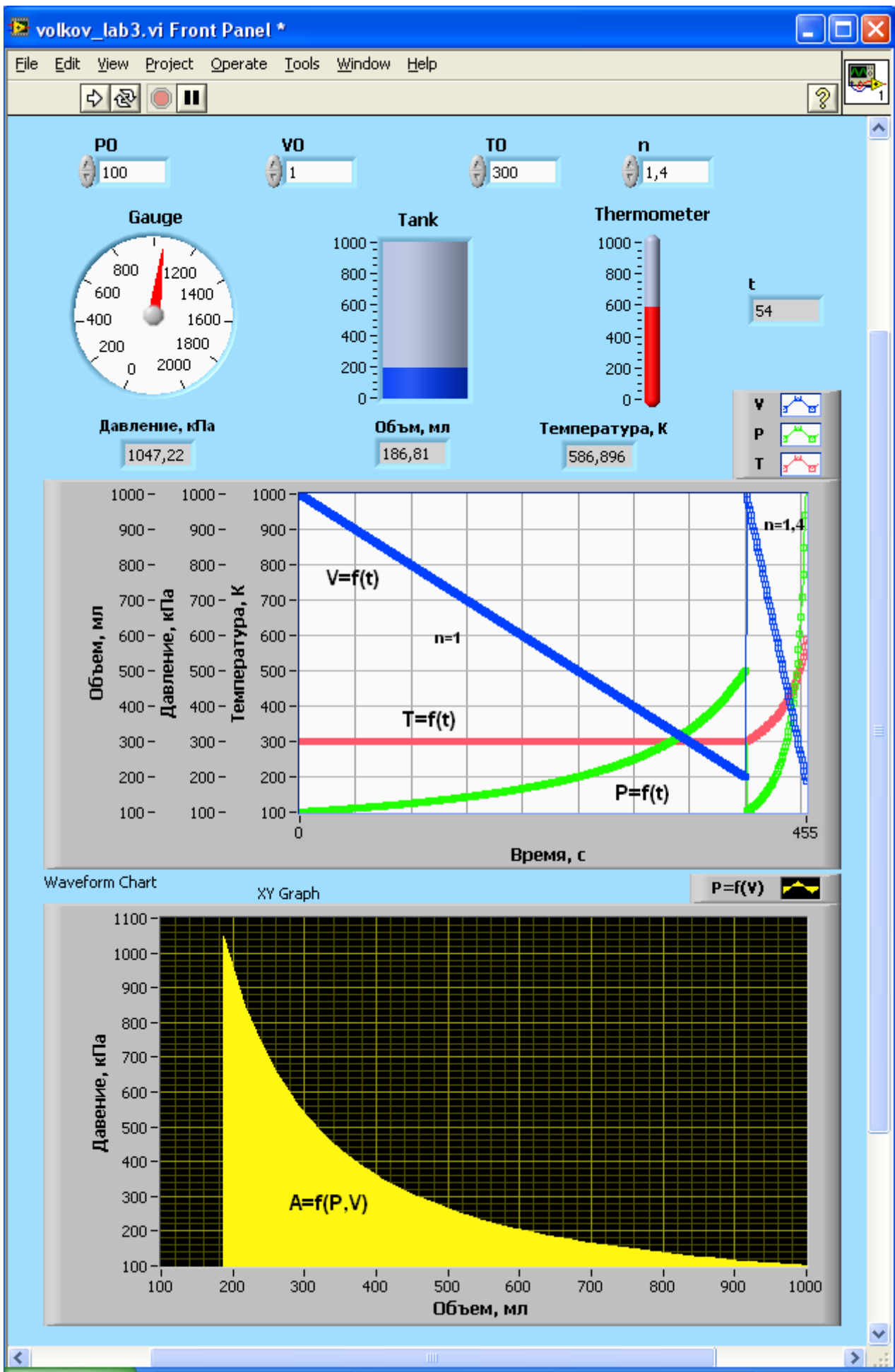
Если в политропном процессе воздух, являющийся идеальным газом, сжимается очень быстро, то при уменьшении объема в 15 раз, температура его повышается до 650 °С.

В сжатый воздух можно впрыснуть дизельное топливо, и оно самовоспламенится. Таким способом может быть реализован один из процессов термодинамического цикла Дизеля в автомобильном двигателе.

Лицевая панель пользователя, с которой осуществляется управление процессом моделирования, показана на рис. 48. В ее верхней части находится четыре цифровых элемента управления для введения исходных данных задачи:  $V_0$ ,  $P_0$ ,  $T_0$ ,  $n$ .

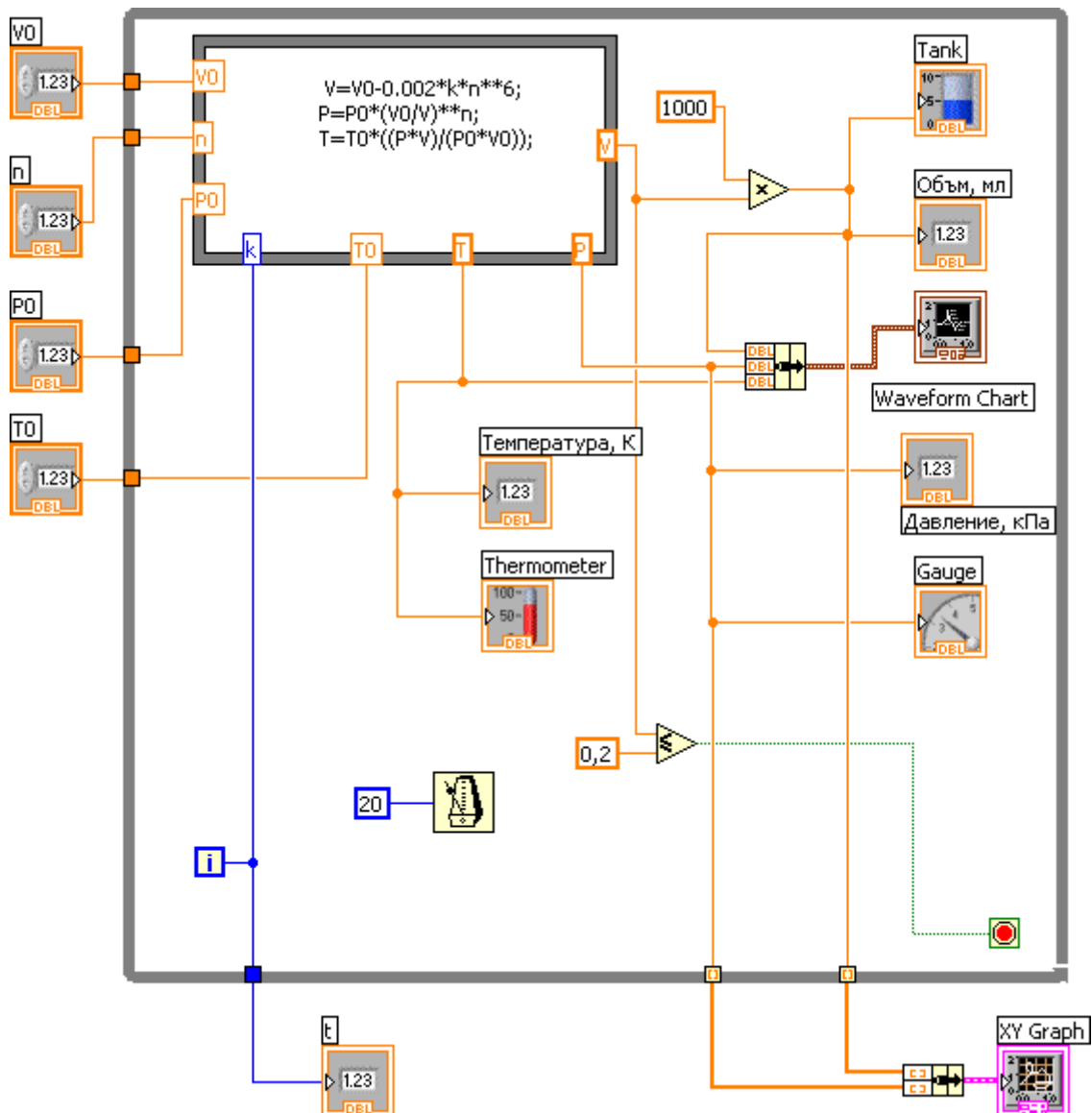
Для отображения текущих значений  $V$ ,  $P$ ,  $T$  на лицевой панели помещены четыре виртуальных прибора – мерная емкость, стрелочный манометр, термометр и цифровой секундомер с верхними пределами показаний их шкал, соответствующими диапазонам измерений объема – 1000 мл, давления – 2000 кПа, температуры 1000 К и 1000 секунд виртуального времени. Показания линейных шкал этих приборов продублированы цифровыми индикаторами, позволяющими производить более точный отсчет контролируемых параметров.

Для наблюдения за ходом моделируемого процесса на лицевой панели находятся виртуальный трехлучевой запоминающий осциллограф и X-Y-самописец для построения  $P$ - $V$  диаграммы процесса.



**Рис. 48.** Лицевая панель моделирования процессов сжатия

Графический код программы моделирования представлен на рис. 49.



**Рис. 49.** Блок-схема программы моделирования

политропного сжатия воздуха

В центре блок-схемы, которая для удобства разработки программы присутствует на экране компьютера одновременно с лицевой панелью, находится графическая пиктограмма цикла по условию в виде внешнего прямоугольника, заключающего все операторы, выполняющиеся внутри этого цикла. Следующей центральной структурой программы является узел формул, в который в обычной записи внесены основные соотношения математической модели, определяющие изменения параметров состояния газа в зависимости от скорости его сжатия и виртуального времени  $k$ . В нашем случае определяющим процессом политропного сжатия воздуха является движение поршня и соответствующее изменение объема сжатого

воздуха. Свяжем скорость этого процесса с показателем политропы следующим образом:  $V = V_0 - 0,002 \cdot k \cdot n^5$ , где  $k = i$ .

Это означает, что за каждый цикл моделирования объем сжимаемого газа линейно уменьшается на  $(2 \cdot n^5)$  мл. Соответствующее изменение давления в цилиндре описывается формулой:  $P = P_0 \cdot (V_0/V)^n$ ,

а температуры  $T = T_0 \cdot ((P \cdot V)/(P_0 \cdot V_0))$ .

Для обеспечения работы операторов формульного узла необходимо ввести через терминалы входа значения всех переменных, присутствующих в левой части записанных уравнений. Вычисленные значения параметров (правые части формул) выводятся через терминалы выхода, выделенные более жирным контуром.

Программа автоматически прекращает работу, когда по условию задачи степень сжатия воздуха в цилиндре  $\lambda = V_0/V_K$  становится равной или большей 5-ти. Для этого в программе специально создается графическая цепочка, формирующая условия завершения цикла. Она состоит из логического переключателя «истина» или «ложь» с подачей на два его входа текущего значения объема и конечного объема при сжатии  $V_K \leq 0,2$  л, а также выключателя программы, срабатывающего при значении «истина».

Для наблюдения за процессом сжатия и растягивания его по времени в центре цикла помещен камертон с временем задержки такта 20 мс, так как по умолчанию скорость выполнения цикла составляет всего 1 мс.

Текущие значения выходных величин  $V$ ,  $P$ ,  $T$  с терминалов формульного узла подаются на входы приборов, находящихся на лицевой панели и пиктограммы которых присутствуют в цикле. Показатели  $V$ ,  $P$  дублируются и сохраняются на границах цикла в виде массивов. По завершении программы они выводятся на X-Y самописец для построения  $P - V$  диаграммы процесса. Результаты моделирования при различной скорости сжатия воздуха (различных значениях показателя политропы) приведены в табл. 15.

Результаты моделирования политропного процесса Таблица 15

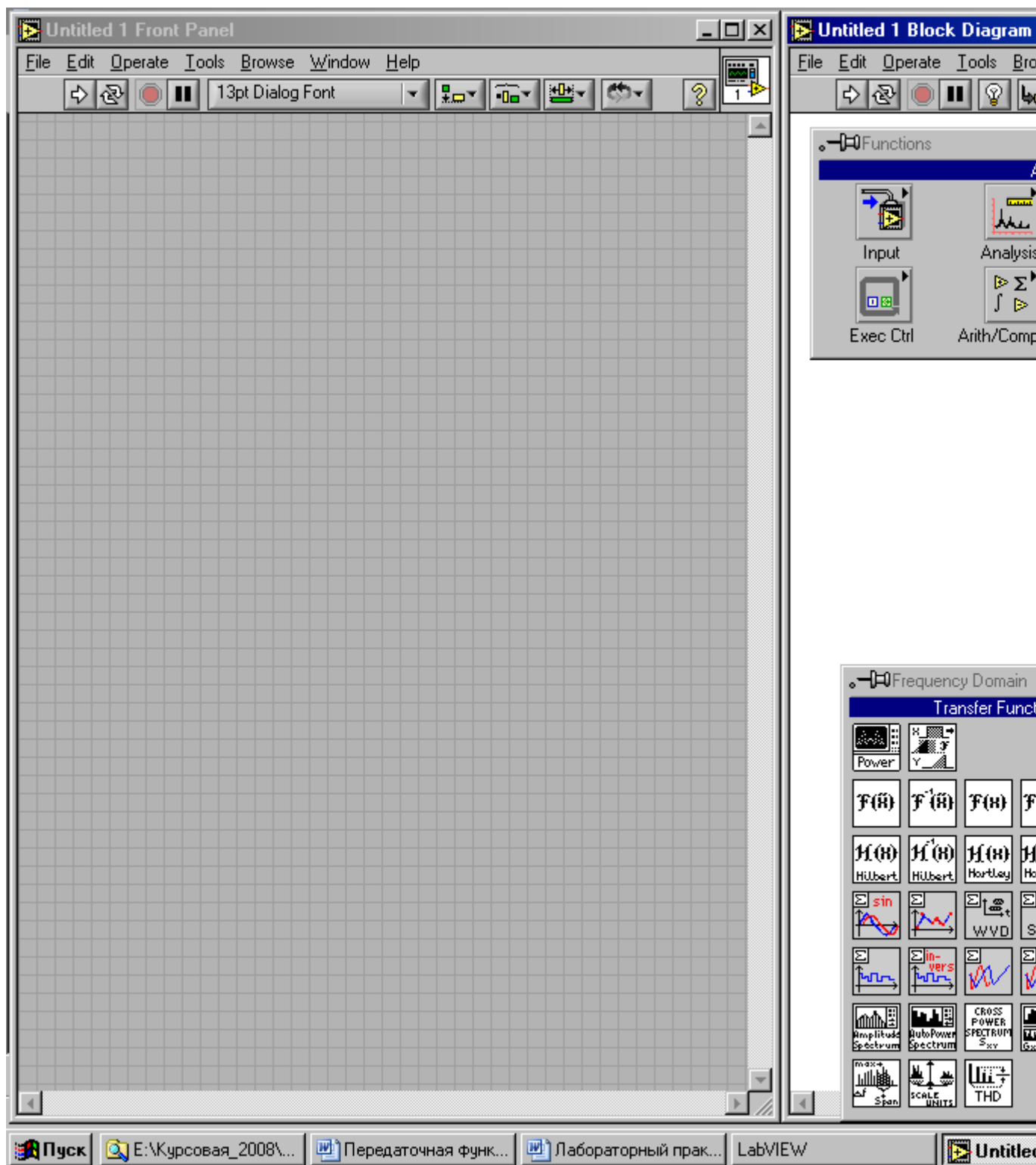
№ ц/п	Параметры				
	n	t, мс	V, л	P, кПа	T, К
	1	401	0,199	200	300
	1,2	154	0,198	460	365
	1,4	57	0,197	1047	567

Полученные значения параметров состояния использованы для автоматического построения  $P$ - $V$  диаграммы моделируемого процесса. При этом площадь области, лежащей под кривой  $P(V)$ , численно равна работе, затрачиваемой для сжатия воздуха.

$$A = \sum P dv.$$

Можно видеть, что в медленном изотермическом процессе ( $n = 1$ ) степень повышения давления равна степени сжатия воздуха. При быстром адиабатическом сжатии ( $n = 1,4$ ) и той же степени сжатия давление воздуха в несколько раз превышает изотермическое увеличивается более, чем в 10 раз. Температура при этом достигает 560 К. Это связано с тем, что в медленном процессе тепловая энергия, которая образуется при сжатии газа, успевает рассеяться в окружающей среде. Таким образом, характер изменения параметров состояния фактически зависит от скорости процесса.

*Моделирование компьютерных систем измерения*



Ниже рассматривается задача создания компьютерной модели автоматического сбора и обработки данных и встраивания ее в реальную систему измерения электрической емкости конденсатора методом суммирования количества зарядов, стекающих с его обкладок.

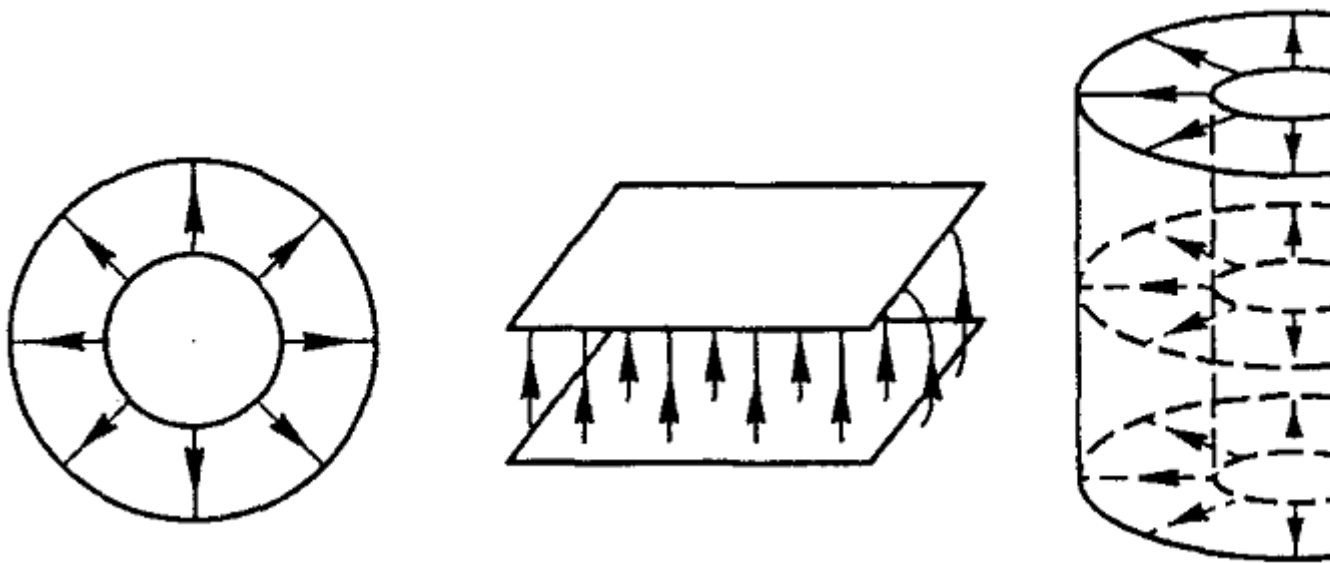
Электрическая емкость конденсатора – это физическая величина, равная отношению его заряда к разности потенциалов:

Разность потенциалов может быть измерена обыкновенным вольтметром. Но приборов для прямого измерения величины заряда, находящегося на обкладках конденсатора, не существует. В то же время эту величину можно вычислить, измеряя ток при разрядке конденсатора. Действительно, сила тока характеризуется количеством элементарных зарядов, протекающих через проводник в единицу времени (рис. 50).

$$I = n e / Dt, \text{ Кл/с,}$$

$$Q = n \cdot e,$$

где  $n$  – число элементарных зарядов;  $e$  = Кл.



*Рис. 50.* Электрическое поле в сферическом, плоском и цилиндрическом конденсаторах

Измеряя мгновенные значения силы тока разрядки, умножая их малые интервалы времени и суммируя эти произведения до полной разрядки конденсатора, можно получить начальную величину заряда, находившуюся на обкладках конденсатора, по формуле:

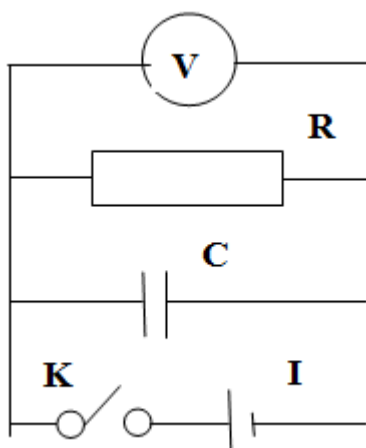
,

где  $Q$  – величина заряда;  $I$  – сила тока;  $\Delta t_n$  – интервал времени.



Разделив полученную величину на начальное напряжение на конденсаторе, получим значение электроемкости конденсатора.

Электрическая схема установки для определения емкости конденсаторов показана на рис. 51. Она включает в себя источник напряжения, конденсатор, активную нагрузку сопротивлением  $R$ , ключ  $K$ . При горизонтальном положении ключа конденсатор оказывается заряженным до 3 В. При вертикальном положении источник питания отключается, и конденсатор начинает разряжаться через сопротивление нагрузки. Для оставшейся активной цепи в любой момент времени справедливо выражение:  $I = U/R$ .



**Рис. 51.** Схема экспериментальной установки

Лицевая панель модели системы измерения показана на рис. 52. На ней присутствуют:

- стрелочный прибор для контроля падения напряжения на конденсаторе;
- три цифровых элемента управления для ввода исходных данных – ЭДС источника, сопротивления нагрузки  $R$  и остаточного напряжения  $U_k$ ;
- три цифровых индикатора для отображения мгновенных значений заряда  $Q$ , силы тока и времени разрядки  $t$ ;
- три осциллографа для регистрации в виде временных графиков текущих значений напряжения на конденсаторе, силы тока на сопротивлении нагрузки и количества зарядов, стекающих с конденсатора.

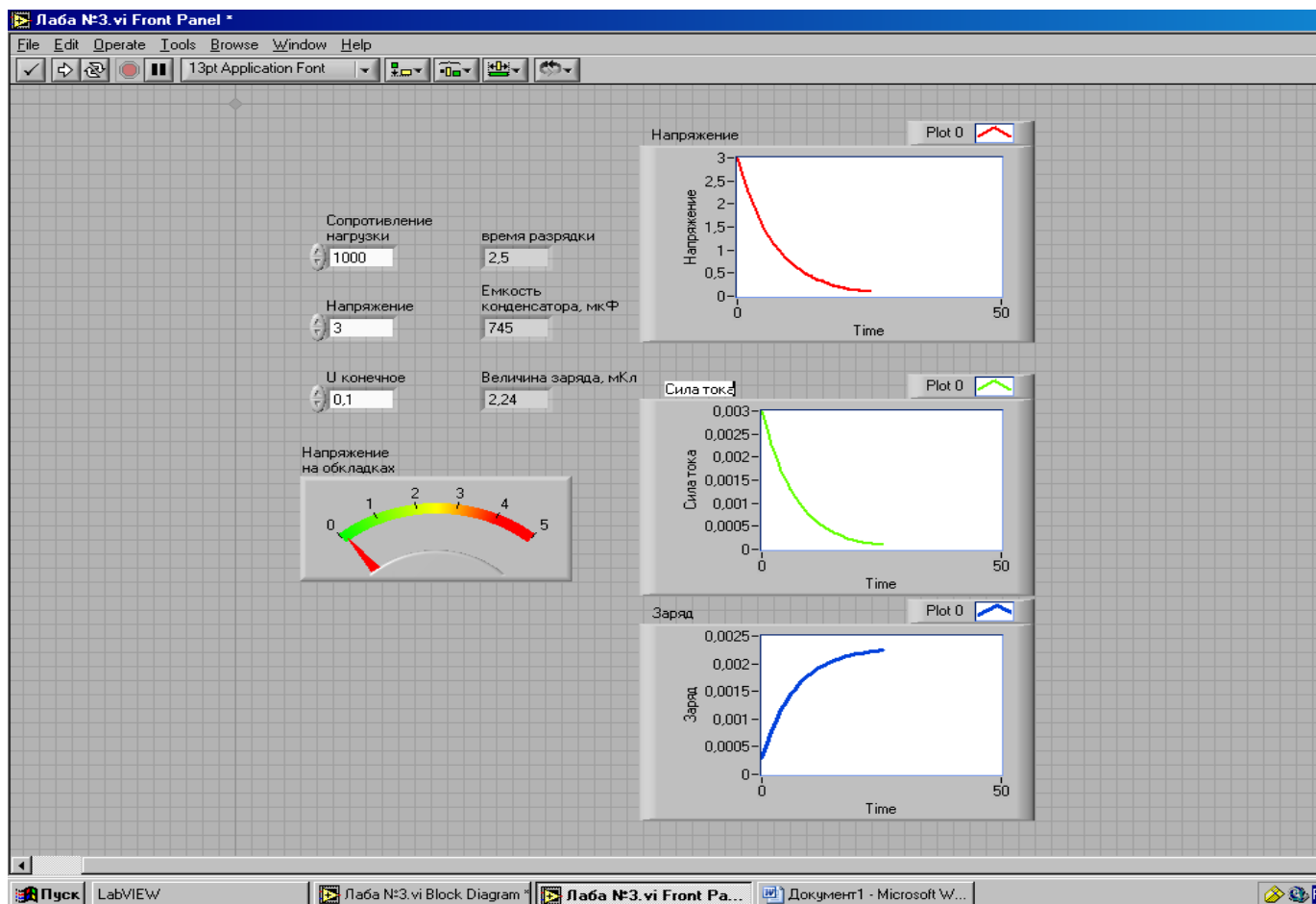


Рис. 52. Лицевая панель моделирования системы измерений

**Рис. 53.** Блок-схема моделирования системы измерений

На блок-диаграмме (рис. 53) представлены все функции, выполняемые системой измерения, за исключением автоматизированного сбора данных реального эксперимента, осуществляемого специальной платой и экспресс-прибором, имеющимся в LabVIEW для этих целей. При моделировании они заменяются численным воспроизведением экспоненциального падения напряжения на конденсаторе, и пересчетом параметров разрядки в формульном узле. Для этого в узел формулы вписаны формулы для определения силы тока разрядки:

$I = U/R$  и суммирования величины зарядов, стекающих с обкладок конденсатора:  $Q = Q_0 + I \cdot dt$ . При этом вторая формула предусматривает организацию процесса численного интегрирования, в котором на каждой новой итерации используется предыдущее значение  $Q$ , которое всякий раз учитывается как новое значение  $Q_0$ . Для запоминания вычисленного значения  $Q$  и возвращения его в цикл используется «сдвиговый регистр», устанавливаемой на правой границе узла формул.

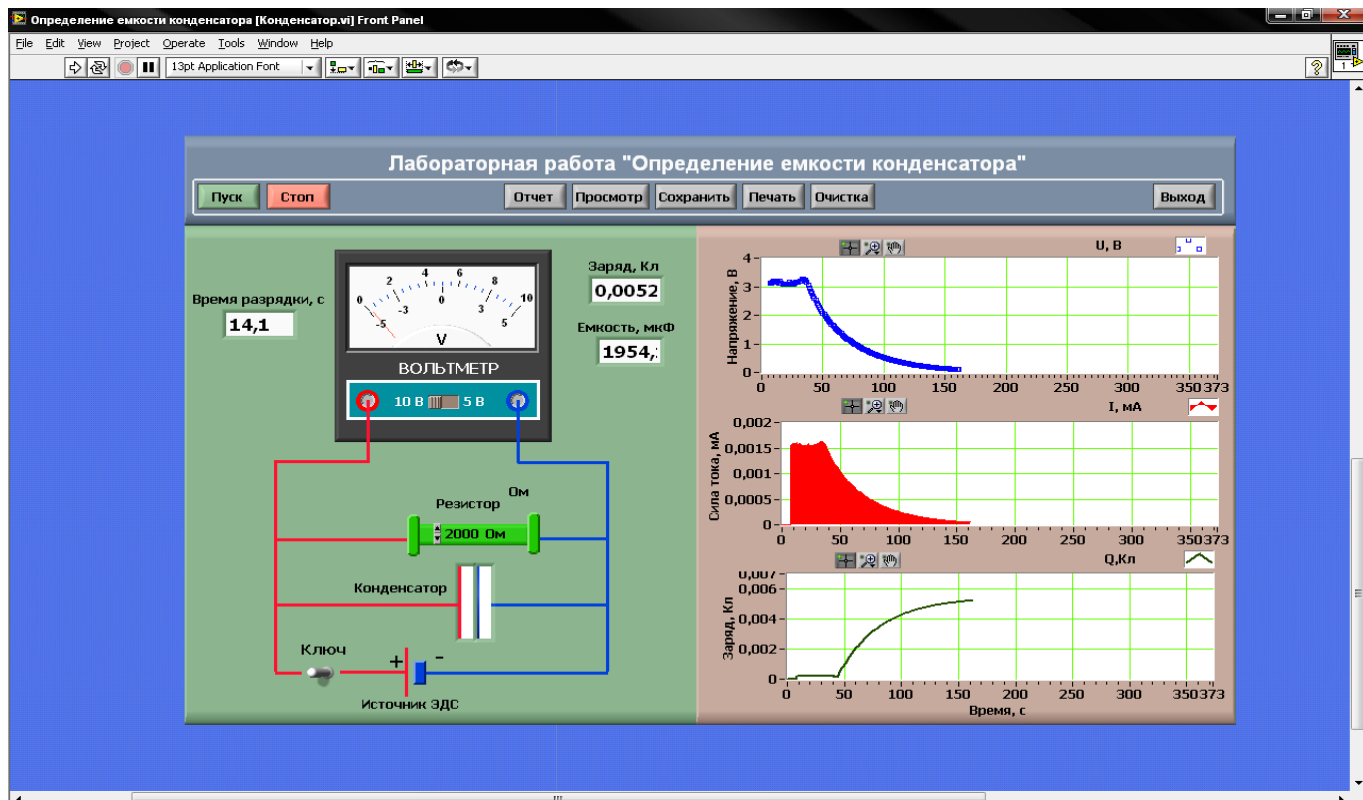
Для начала работы формульного узла в него введены начальные данные  $Q_0$ ,  $R$  и  $U$ . Текущее значение  $U$  используется в качестве входного параметра автоматического выключения работы цикла.  $U \leq U_k$ , где  $U_k$  – остаточное напряжение на конденсаторе в конце разрядки, сравнимое с интенсивностью помех. В нашем случае  $U_k = 0,1\text{В}$ .

Значения  $Q$  и  $t$ , сохраненные в цикле после выполнения последней итерации, выводятся на цифровые индикаторы исходного заряда и времени разрядки. Кроме того, вне цикла, после его выполнения, рассчитывается и выводится на свой индикатор значение емкости конденсатора  $C = Q/U_0$ .

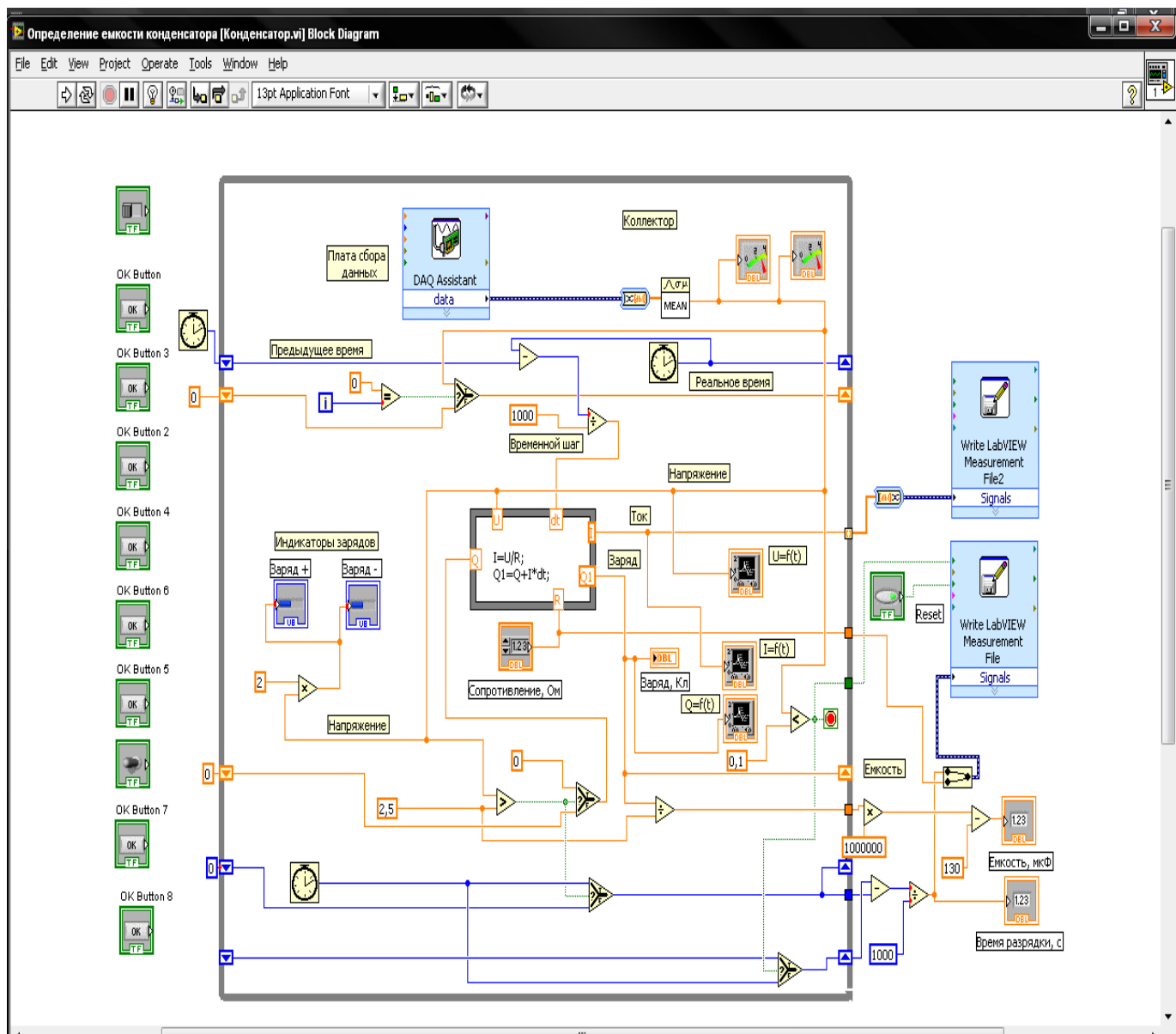
При этом на первых двух осциллографах строятся кривые падения напряжения на конденсаторе и соответствующего уменьшения тока через сопротивление. На третьем осциллографе демонстрируется подсчет по времени величины суммарного заряда, сошедшего с обкладок конденсатора.

На рис. 54 и 55 показаны лицевая панель и блок-диаграмма реальной системы измерения с учетом ее отработки при предварительном моделировании. Легко отметить общие узлы, структуры и наиболее существенные отличия от моделирующей программы. Достоинство среды состоит в том, что при воплощении модели в жизнь используются готовые решения LabVIEW по средствам ввода и отображения данных, приборы реального времени и т.п. Тем не менее, центральный момент вычислений – определение начального заряда конденсатора по изменению тока разрядки (заштрихованная область под графиком  $I(t)$ ) остался практически неизменным.

Таким образом, моделирование позволило установить общие закономерности процесса разрядки, а также разработать программу обработки и отображения данных, которая полностью использована при создании реальной компьютерной системы измерения емкости конденсаторов методом подсчета количества элементарных зарядов, стекающих с его обкладок.



**Рис. 54.** Лицевая панель компьютерной системы измерения



**Рис. 55.** Графический код программы по определению емкости конденсатора

### Функции генерации, ввода и обработки данных

LabVIEW предоставляет широкий набор функциональных возможностей для отладки сложных программ, тестирования реальных систем измерения и регулирования и развернутого анализа получаемых данных. Так, функции генерации сигналов и шумов используются для формирования детерминированных и случайных сигналов с заданным набором параметров (рис. 56).

Первые два прибора в верхнем ряду представляют собой многофункциональные программно регулируемые генераторы сигналов с

The screenshot displays the LabVIEW software environment. At the top is the menu bar with options: File, Edit, Operate, Tools, Browse, Window, Help. Below the menu bar is a toolbar with icons for navigation, execution, and help. The main workspace is titled 'Untitled 1 Block Diagram'. On the left side, the 'Functions' palette is open, showing a search bar and a grid of function categories: Input, Analysis, Output, User Libraries, Exec Ctrl, Arith/Compare, Sig Manip, and All Functions. The 'All Functions' sub-palette is expanded, showing a grid of functions categorized under 'Analyze', 'Signal Processing', and 'Signal Generation'. The 'Signal Generation' sub-palette is further expanded, showing a grid of signal generation functions such as 'Signal Gen', 'A to B', 'B to A', 'A to C', 'B to C', 'A to D', 'B to D', 'A to E', 'B to E', 'A to F', 'B to F', 'A to G', 'B to G', 'A to H', 'B to H', 'A to I', 'B to I', 'A to J', 'B to J', 'A to K', 'B to K', 'A to L', 'B to L', 'A to M', 'B to M', 'A to N', 'B to N', 'A to O', 'B to O', 'A to P', 'B to P', 'A to Q', 'B to Q', 'A to R', 'B to R', 'A to S', 'B to S', 'A to T', 'B to T', 'A to U', 'B to U', 'A to V', 'B to V', 'A to W', 'B to W', 'A to X', 'B to X', 'A to Y', 'B to Y', 'A to Z', 'B to Z', 'A to AA', 'B to AA', 'A to AB', 'B to AB', 'A to AC', 'B to AC', 'A to AD', 'B to AD', 'A to AE', 'B to AE', 'A to AF', 'B to AF', 'A to AG', 'B to AG', 'A to AH', 'B to AH', 'A to AI', 'B to AI', 'A to AJ', 'B to AJ', 'A to AK', 'B to AK', 'A to AL', 'B to AL', 'A to AM', 'B to AM', 'A to AN', 'B to AN', 'A to AO', 'B to AO', 'A to AP', 'B to AP', 'A to AQ', 'B to AQ', 'A to AR', 'B to AR', 'A to AS', 'B to AS', 'A to AT', 'B to AT', 'A to AU', 'B to AU', 'A to AV', 'B to AV', 'A to AW', 'B to AW', 'A to AX', 'B to AX', 'A to AY', 'B to AY', 'A to AZ', 'B to AZ', 'A to BA', 'B to BA', 'A to BB', 'B to BB', 'A to BC', 'B to BC', 'A to BD', 'B to BD', 'A to BE', 'B to BE', 'A to BF', 'B to BF', 'A to BG', 'B to BG', 'A to BH', 'B to BH', 'A to BI', 'B to BI', 'A to BJ', 'B to BJ', 'A to BK', 'B to BK', 'A to BL', 'B to BL', 'A to BM', 'B to BM', 'A to BN', 'B to BN', 'A to BO', 'B to BO', 'A to BP', 'B to BP', 'A to BQ', 'B to BQ', 'A to BR', 'B to BR', 'A to BS', 'B to BS', 'A to BT', 'B to BT', 'A to BU', 'B to BU', 'A to BV', 'B to BV', 'A to BW', 'B to BW', 'A to BX', 'B to BX', 'A to BY', 'B to BY', 'A to BZ', 'B to BZ', 'A to CA', 'B to CA', 'A to CB', 'B to CB', 'A to CC', 'B to CC', 'A to CD', 'B to CD', 'A to CE', 'B to CE', 'A to CF', 'B to CF', 'A to CG', 'B to CG', 'A to CH', 'B to CH', 'A to CI', 'B to CI', 'A to CJ', 'B to CJ', 'A to CK', 'B to CK', 'A to CL', 'B to CL', 'A to CM', 'B to CM', 'A to CN', 'B to CN', 'A to CO', 'B to CO', 'A to CP', 'B to CP', 'A to CQ', 'B to CQ', 'A to CR', 'B to CR', 'A to CS', 'B to CS', 'A to CT', 'B to CT', 'A to CU', 'B to CU', 'A to CV', 'B to CV', 'A to CW', 'B to CW', 'A to CX', 'B to CX', 'A to CY', 'B to CY', 'A to CZ', 'B to CZ', 'A to DA', 'B to DA', 'A to DB', 'B to DB', 'A to DC', 'B to DC', 'A to DD', 'B to DD', 'A to DE', 'B to DE', 'A to DF', 'B to DF', 'A to DG', 'B to DG', 'A to DH', 'B to DH', 'A to DI', 'B to DI', 'A to DJ', 'B to DJ', 'A to DK', 'B to DK', 'A to DL', 'B to DL', 'A to DM', 'B to DM', 'A to DN', 'B to DN', 'A to DO', 'B to DO', 'A to DP', 'B to DP', 'A to DQ', 'B to DQ', 'A to DR', 'B to DR', 'A to DS', 'B to DS', 'A to DT', 'B to DT', 'A to DU', 'B to DU', 'A to DV', 'B to DV', 'A to DW', 'B to DW', 'A to DX', 'B to DX', 'A to DY', 'B to DY', 'A to DZ', 'B to DZ', 'A to EA', 'B to EA', 'A to EB', 'B to EB', 'A to EC', 'B to EC', 'A to ED', 'B to ED', 'A to EE', 'B to EE', 'A to EF', 'B to EF', 'A to EG', 'B to EG', 'A to EH', 'B to EH', 'A to EI', 'B to EI', 'A to EJ', 'B to EJ', 'A to EK', 'B to EK', 'A to EL', 'B to EL', 'A to EM', 'B to EM', 'A to EN', 'B to EN', 'A to EO', 'B to EO', 'A to EP', 'B to EP', 'A to EQ', 'B to EQ', 'A to ER', 'B to ER', 'A to ES', 'B to ES', 'A to ET', 'B to ET', 'A to EU', 'B to EU', 'A to EV', 'B to EV', 'A to EW', 'B to EW', 'A to EX', 'B to EX', 'A to EY', 'B to EY', 'A to EZ', 'B to EZ', 'A to FA', 'B to FA', 'A to FB', 'B to FB', 'A to FC', 'B to FC', 'A to FD', 'B to FD', 'A to FE', 'B to FE', 'A to FG', 'B to FG', 'A to FH', 'B to FH', 'A to FI', 'B to FI', 'A to FJ', 'B to FJ', 'A to FK', 'B to FK', 'A to FL', 'B to FL', 'A to FM', 'B to FM', 'A to FN', 'B to FN', 'A to FO', 'B to FO', 'A to FP', 'B to FP', 'A to FQ', 'B to FQ', 'A to FR', 'B to FR', 'A to FS', 'B to FS', 'A to FT', 'B to FT', 'A to FU', 'B to FU', 'A to FV', 'B to FV', 'A to FW', 'B to FW', 'A to FX', 'B to FX', 'A to FY', 'B to FY', 'A to FZ', 'B to FZ', 'A to GA', 'B to GA', 'A to GB', 'B to GB', 'A to GC', 'B to GC', 'A to GD', 'B to GD', 'A to GE', 'B to GE', 'A to GF', 'B to GF', 'A to GG', 'B to GG', 'A to GH', 'B to GH', 'A to GI', 'B to GI', 'A to GJ', 'B to GJ', 'A to GK', 'B to GK', 'A to GL', 'B to GL', 'A to GM', 'B to GM', 'A to GN', 'B to GN', 'A to GO', 'B to GO', 'A to GP', 'B to GP', 'A to GQ', 'B to GQ', 'A to GR', 'B to GR', 'A to GS', 'B to GS', 'A to GT', 'B to GT', 'A to GU', 'B to GU', 'A to GV', 'B to GV', 'A to GW', 'B to GW', 'A to GX', 'B to GX', 'A to GY', 'B to GY', 'A to GZ', 'B to GZ', 'A to HA', 'B to HA', 'A to HB', 'B to HB', 'A to HC', 'B to HC', 'A to HD', 'B to HD', 'A to HE', 'B to HE', 'A to HF', 'B to HF', 'A to HG', 'B to HG', 'A to HH', 'B to HH', 'A to HI', 'B to HI', 'A to HJ', 'B to HJ', 'A to HK', 'B to HK', 'A to HL', 'B to HL', 'A to HM', 'B to HM', 'A to HN', 'B to HN', 'A to HO', 'B to HO', 'A to HP', 'B to HP', 'A to HQ', 'B to HQ', 'A to HR', 'B to HR', 'A to HS', 'B to HS', 'A to HT', 'B to HT', 'A to HU', 'B to HU', 'A to HV', 'B to HV', 'A to HW', 'B to HW', 'A to HX', 'B to HX', 'A to HY', 'B to HY', 'A to HZ', 'B to HZ', 'A to IA', 'B to IA', 'A to IB', 'B to IB', 'A to IC', 'B to IC', 'A to ID', 'B to ID', 'A to IE', 'B to IE', 'A to IF', 'B to IF', 'A to IG', 'B to IG', 'A to IH', 'B to IH', 'A to II', 'B to II', 'A to IJ', 'B to IJ', 'A to IK', 'B to IK', 'A to IL', 'B to IL', 'A to IM', 'B to IM', 'A to IN', 'B to IN', 'A to IO', 'B to IO', 'A to IP', 'B to IP', 'A to IQ', 'B to IQ', 'A to IR', 'B to IR', 'A to IS', 'B to IS', 'A to IT', 'B to IT', 'A to IU', 'B to IU', 'A to IV', 'B to IV', 'A to IW', 'B to IW', 'A to IX', 'B to IX', 'A to IY', 'B to IY', 'A to IZ', 'B to IZ', 'A to JA', 'B to JA', 'A to JB', 'B to JB', 'A to JC', 'B to JC', 'A to JD', 'B to JD', 'A to JE', 'B to JE', 'A to JF', 'B to JF', 'A to JG', 'B to JG', 'A to JH', 'B to JH', 'A to JI', 'B to JI', 'A to JJ', 'B to JJ', 'A to JK', 'B to JK', 'A to JL', 'B to JL', 'A to JM', 'B to JM', 'A to JN', 'B to JN', 'A to JO', 'B to JO', 'A to JP', 'B to JP', 'A to JQ', 'B to JQ', 'A to JR', 'B to JR', 'A to JS', 'B to JS', 'A to JT', 'B to JT', 'A to JU', 'B to JU', 'A to JV', 'B to JV', 'A to JW', 'B to JW', 'A to JX', 'B to JX', 'A to JY', 'B to JY', 'A to JZ', 'B to JZ', 'A to KA', 'B to KA', 'A to KB', 'B to KB', 'A to KC', 'B to KC', 'A to KD', 'B to KD', 'A to KE', 'B to KE', 'A to KF', 'B to KF', 'A to KG', 'B to KG', 'A to KH', 'B to KH', 'A to KI', 'B to KI', 'A to KJ', 'B to KJ', 'A to KK', 'B to KK', 'A to KL', 'B to KL', 'A to KM', 'B to KM', 'A to KN', 'B to KN', 'A to KO', 'B to KO', 'A to KP', 'B to KP', 'A to KQ', 'B to KQ', 'A to KR', 'B to KR', 'A to KS', 'B to KS', 'A to KT', 'B to KT', 'A to KU', 'B to KU', 'A to KV', 'B to KV', 'A to KW', 'B to KW', 'A to KX', 'B to KX', 'A to KY', 'B to KY', 'A to KZ', 'B to KZ', 'A to LA', 'B to LA', 'A to LB', 'B to LB', 'A to LC', 'B to LC', 'A to LD', 'B to LD', 'A to LE', 'B to LE', 'A to LF', 'B to LF', 'A to LG', 'B to LG', 'A to LH', 'B to LH', 'A to LI', 'B to LI', 'A to LJ', 'B to LJ', 'A to LK', 'B to LK', 'A to LL', 'B to LL', 'A to LM', 'B to LM', 'A to LN', 'B to LN', 'A to LO', 'B to LO', 'A to LP', 'B to LP', 'A to LQ', 'B to LQ', 'A to LR', 'B to LR', 'A to LS', 'B to LS', 'A to LT', 'B to LT', 'A to LU', 'B to LU', 'A to LV', 'B to LV', 'A to LW', 'B to LW', 'A to LX', 'B to LX', 'A to LY', 'B to LY', 'A to LZ', 'B to LZ', 'A to MA', 'B to MA', 'A to MB', 'B to MB', 'A to MC', 'B to MC', 'A to MD', 'B to MD', 'A to ME', 'B to ME', 'A to MF', 'B to MF', 'A to MG', 'B to MG', 'A to MH', 'B to MH', 'A to MI', 'B to MI', 'A to MJ', 'B to MJ', 'A to MK', 'B to MK', 'A to ML', 'B to ML', 'A to MM', 'B to MM', 'A to MN', 'B to MN', 'A to MO', 'B to MO', 'A to MP', 'B to MP', 'A to MQ', 'B to MQ', 'A to MR', 'B to MR', 'A to MS', 'B to MS', 'A to MT', 'B to MT', 'A to MU', 'B to MU', 'A to MV', 'B to MV', 'A to MW', 'B to MW', 'A to MX', 'B to MX', 'A to MY', 'B to MY', 'A to MZ', 'B to MZ', 'A to NA', 'B to NA', 'A to NB', 'B to NB', 'A to NC', 'B to NC', 'A to ND', 'B to ND', 'A to NE', 'B to NE', 'A to NF', 'B to NF', 'A to NG', 'B to NG', 'A to NH', 'B to NH', 'A to NI', 'B to NI', 'A to NJ', 'B to NJ', 'A to NK', 'B to NK', 'A to NL', 'B to NL', 'A to NM', 'B to NM', 'A to NN', 'B to NN', 'A to NO', 'B to NO', 'A to NP', 'B to NP', 'A to NQ', 'B to NQ', 'A to NR', 'B to NR', 'A to NS', 'B to NS', 'A to NT', 'B to NT', 'A to NU', 'B to NU

Среди них:

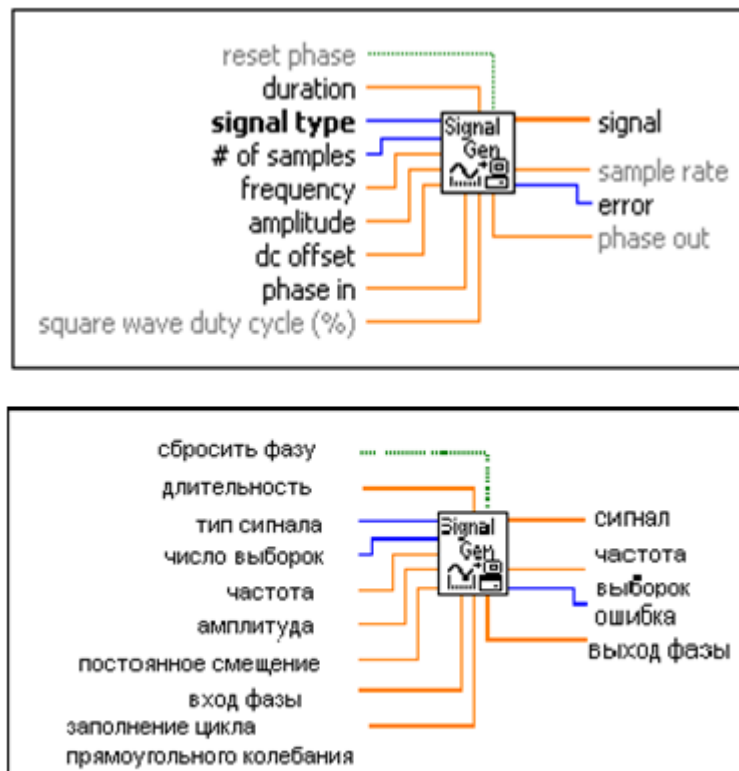
- генератор с заданной длительностью сигналов;
- гармонические колебания и шум;
- отрезки синусоидального, импульсного, пилообразного,  $\sin(x)/y$ , прямоугольного и частотно-модулированного сигналов;

- синусоидальные, треугольные, прямоугольные, пилообразные и произвольные колебания любой длительности;
- равномерный, гауссовский, периодический случайный шум и двоичная последовательность максимальной длины;
- гамма-шум, пуассоновский, биномиальный шум, шум Бернулли и т.п.

При моделировании отклика различных систем на разнообразные внешние воздействия может быть использован «Генератор сигналов с заданной длительностью» (рис. 57).

Рассматриваемый компьютерный прибор имеет девять входов: сбросить фазу, длительность, тип сигнала, число выборок, частота, амплитуда, постоянная составляющая, вход фазы, заполнение цикла прямоугольного колебания (%), а также имеется три выхода: сигнал, частота выборок, выход фазы (рис. 57, 58 и 59).

ВП генерирует сигнал (signal), имеющий форму, задаваемую на входе *тип сигнала* (signal type). Вход *сбросить фазу* (reset phase) определяет начальную фазу выходного сигнала. По умолчанию на входе установлено состояние ИСТИНА. При этом начальная фаза сигнала устанавливается в соответствии со значением на входе *вход фазы* (phase in). Если на входе *сбросить фазу* установлено состояние ЛОЖЬ, то начальная фаза устанавливается равной значению фазы на *выходе фазы* (phase out) при последнем выполнении этого ВП.



**Рис. 57.** Генератор сигналов с заданной длительностью

Вход *длительность* (duration) задает время в секундах, равное длительности генерируемого выходного сигнала. По умолчанию значение длительности равно 1,0.

Вход *тип сигнала* задает следующие типы генерируемого сигнала: 0-синусоидальный, 1-косинусоидальный, 2-треугольный, 3-прямоугольный, 4-пилообразный, 5-линейно нарастающий, 6-линейно спадающий.

Вход *число выборок* (# of samples) задает число выборок выходного сигнала. По умолчанию это значение равно 100.

Вход *частота* (frequency) определяет частоту выходного сигнала в герцах. По умолчанию значение частоты равно 10. При задании частоты необходимо учитывать требование выполнения критерия Найквиста:  $частота < \frac{число\ выборок}{2 \cdot длительность}$ .

Вход *амплитуда* (amplitude) задает амплитуду выходного сигнала. По умолчанию значение амплитуды равно 1,0.

Вход *постоянное смещение* (dc offset) задает постоянное смещение или значение постоянной составляющей выходного сигнала. По умолчанию значение постоянной составляющей равно 0.

Вход *фазы* определяет начальную фазу (в градусах) выходного сигнала при установке *сбросить фазу* в состояние ИСТИНА. По умолчанию значение на входе фазы равно 0.



Вход *заполнение цикла прямоугольного колебания* (square wave duty cycle) определяет время (в % от периода), в течение которого прямоугольный сигнал имеет высокий уровень. ВП использует данный параметр только для прямоугольного сигнала. По умолчанию значение на входе равно 50 %.

Выход *сигнал* представляет сгенерированный массив выборок сигнала.

Выход *частота выборок* (sample rate) отображает частоту дискретизации выходного сигнала. *Частота выборок* равна отношению числа выборок к длительности. *Выход фазы* указывает значения фазы (в градусах) последней выборки выходного сигнала.

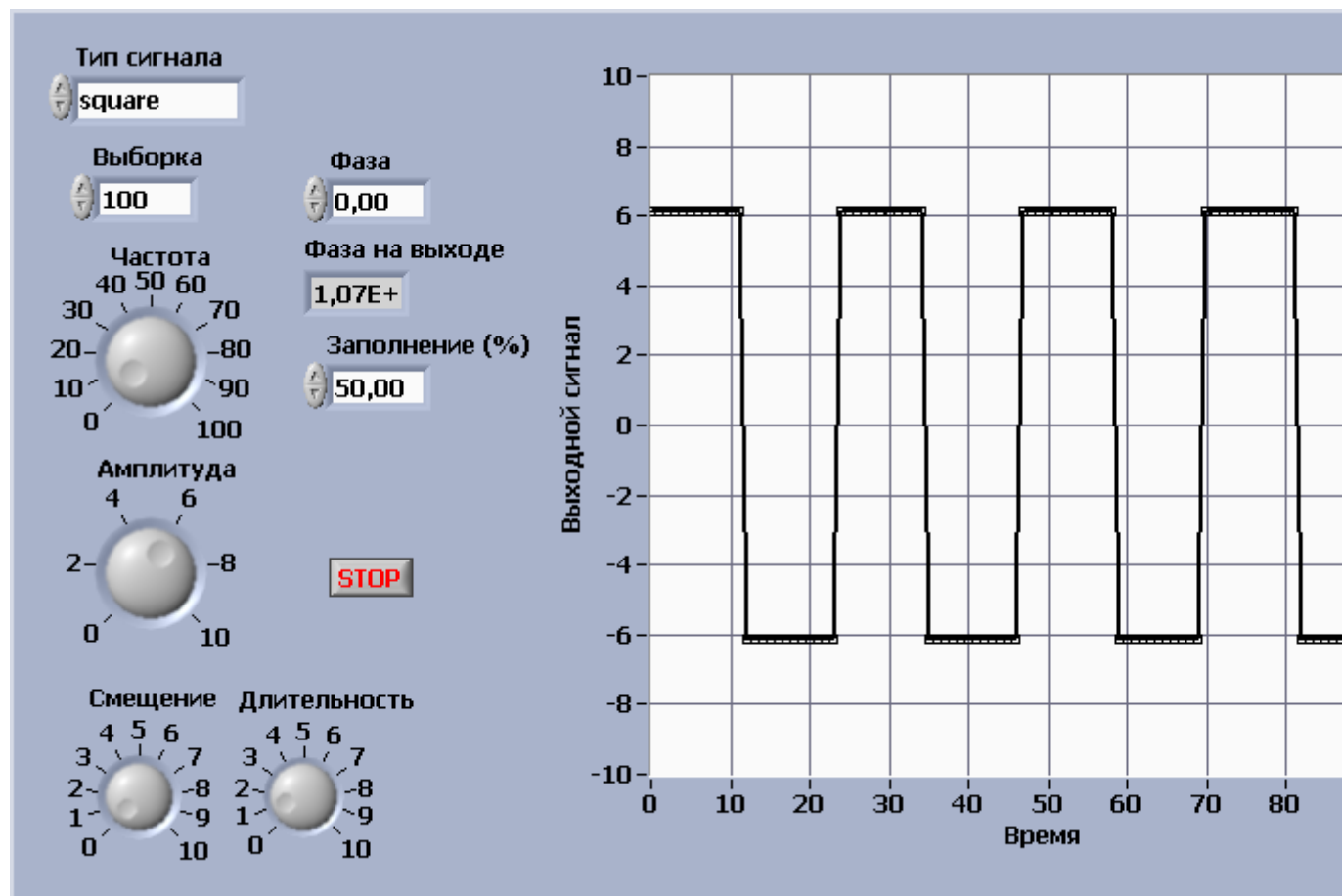
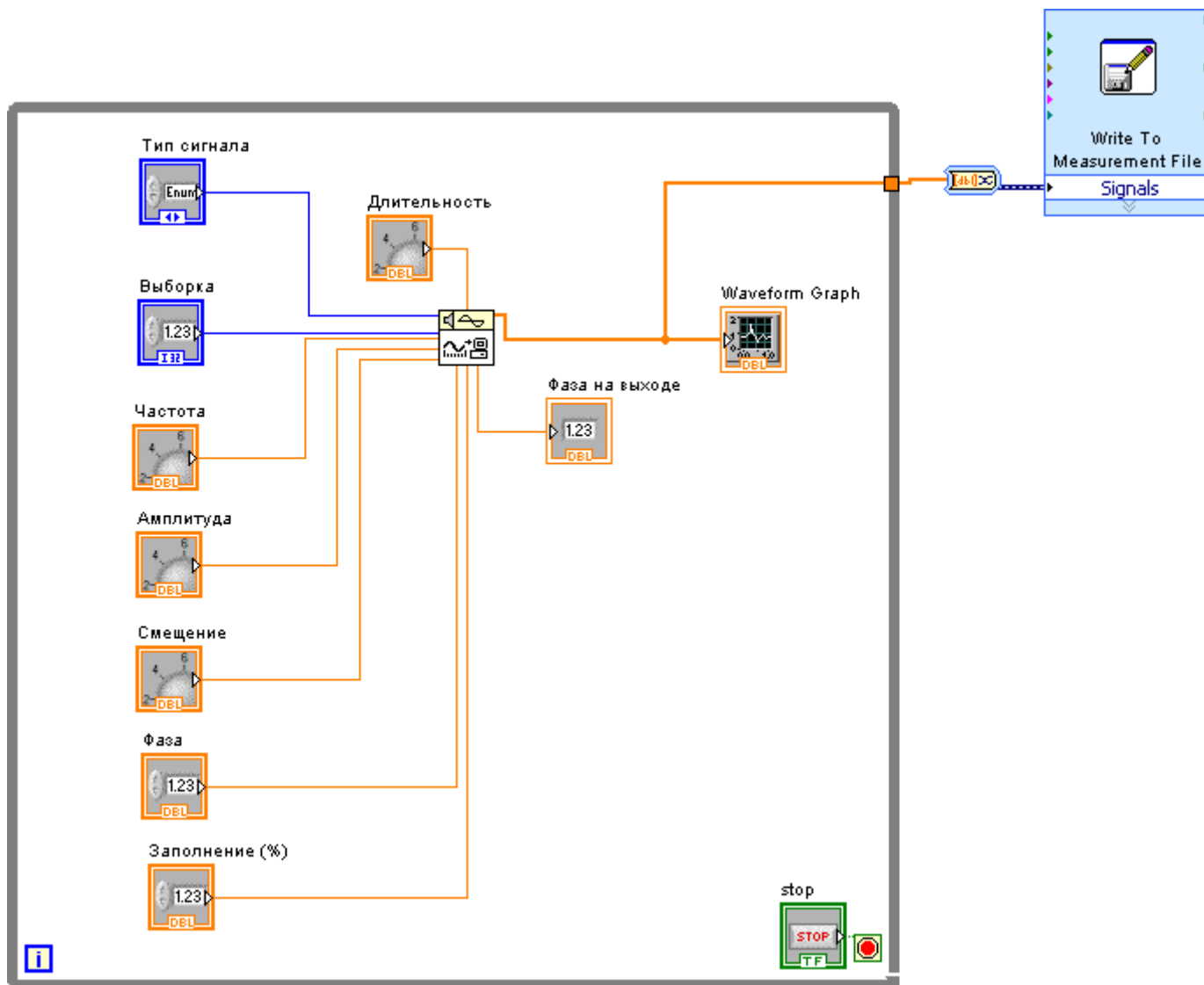


Рис. 58. Лицевая панель генератора сигналов



*Рис. 59.* Блок-диаграмма программного управления режимом работы генератора

При моделировании систем автоматизированной обработки данных представляет интерес Палитра функций обработки сигналов в частотной области (рис. 60) и компьютерный прибор вычисления передаточной функции (рис. 61).



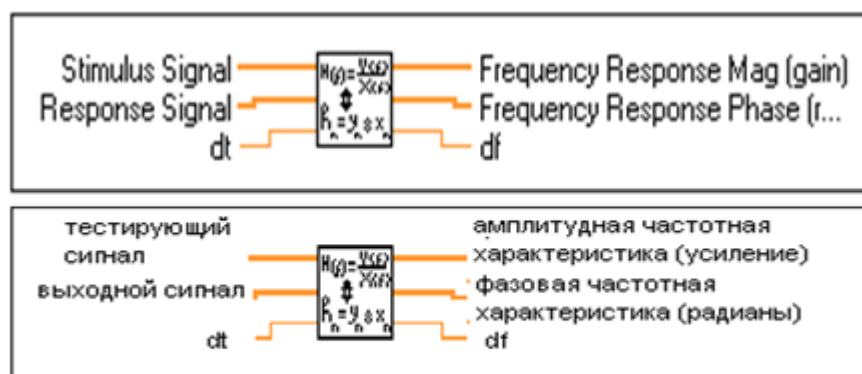


Рис. 61. Входы и выходы пиктограммы расчета передаточной функции

Лицевая панель системы регулирования и блок-диаграмма тестирования может выглядеть следующим образом (рис. 62).

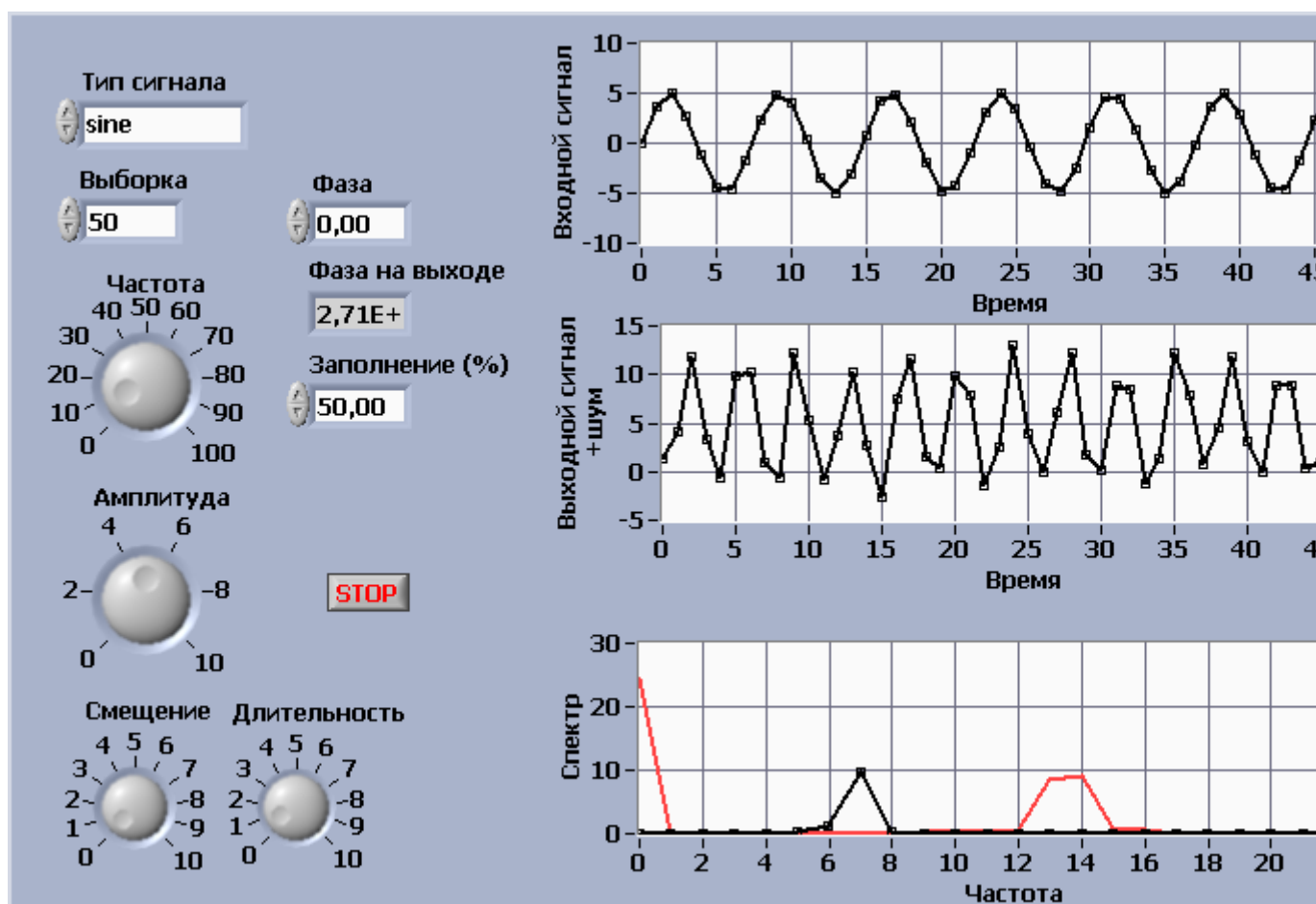


Рис. 62. Лицевая панель тестирования систем автоматики

Свободное математическое моделирование – это новый метод организации вычислительных экспериментов и обучения математическому моделированию, основанный на распределенных сетевых сообществах ученых, изобретателей, экспертов, преподавателей, студентов и школьников. Идея СММ заключается в использовании современных информационных и гуманитарных технологий совместного проведения исследований,

конструирования и разработки (подход Open Source), что позволяет легко обмениваться, изучать, использовать и адаптировать открытые модели широкому кругу творческих людей.