

**О ПОИСКЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПРИЁМОВ И ПУТЕЙ РЕАЛИЗАЦИИ  
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ В LABVIEW**

А. Е. КУРОЧКИН, ВУННА ЧЖО, ТУН КХАНТ, НЕЙ ЛИН У

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
(г. Минск, Беларусь)*

*E-mail: kurochkin@bsuir.by*

**Аннотация.** Обсуждаются общие вопросы разработки компьютерных аналогов физических лабораторных стендов в LabVIEW.

**Annotation.** General issues of developing computer experimental laboratory stands in LabVIEW are discussed.

**Введение**

Компьютерное *моделирование* электрических схем устройств, как правило, выполняется в специально предназначенных для этого программах [1], таких, например, как Multisim [2]. LabVIEW - это графическая среда разработки инженерных программ для контрольно-измерительных устройств, систем анализа информации и данных с мощными инструментами визуализации результатов, с применением графического подхода к программированию [3]. Из названия следует, что LabVIEW ориентирована на лабораторные исследования, измерения и сбор данных. Графическая среда LabView содержит обширные библиотеки функций и инструментальных средств, предназначенных для создания систем сбора данных и систем автоматизированного управления процессами. Если учесть, что в Multisim предусмотрена возможность расширения функционала за счёт импорта дополнительных виртуальных инструментов LabVIEW, то тандем Multisim и LabVIEW значительно расширяет возможности программы, позволяет выполнять анализ схем и эксперименты, проведение которых было невозможно с набором стандартных виртуальных приборов [4].

Однако возможности LabVIEW как графической системы программирования настолько широки, что эту программную среду часто применяют и для математического моделирования электрических цепей различного назначения. При этом общие принципы разработки интерактивных виртуальных стендов в качестве дополнения к физическим лабораторным установкам с помощью LabVIEW хорошо известны. Вся работа проходит в несколько нижеперечисленных этапов.

Этап 1. На этом этапе определяются основные физические явления, подлежащие углубленному изучению с помощью физического лабораторного модуля, перечень контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), а также набор характеристик и параметров компонентов электрических схем и функциональных узлов.

Этап 2. Изготовление интерфейса (лицевой панели) виртуального стенда. LabVIEW содержит практически все основные элементы управления и индикации, необходимые для удовлетворения интерактивных потребностей виртуального лабораторного стенда в соответствии с проводимыми манипуляциями при проведении физического эксперимента. На этом этапе производится выбор элементов управления и отображения результатов из имеющихся в библиотеке LabVIEW.

Этап 3. Изготовление программного кода с помощью графических образов (палитры функций) на блок-диаграмме. Библиотека LabVIEW представлена просто огромным количеством функций, включая операторы программирования, элементарную и высшую математику, функции преобразования и обработки сигналов и т.д. От этого этапа зависит корректность функционирования виртуального стенда в режиме реального времени, его быстродействие, доступность, точность и очевидность получаемых результатов. На этом этапе в аналитической форме представляются зависимости, связывающие искомые характеристики и выходные параметры с начальными условиями, параметрами и переменными состояний системы в различных режимах работы.

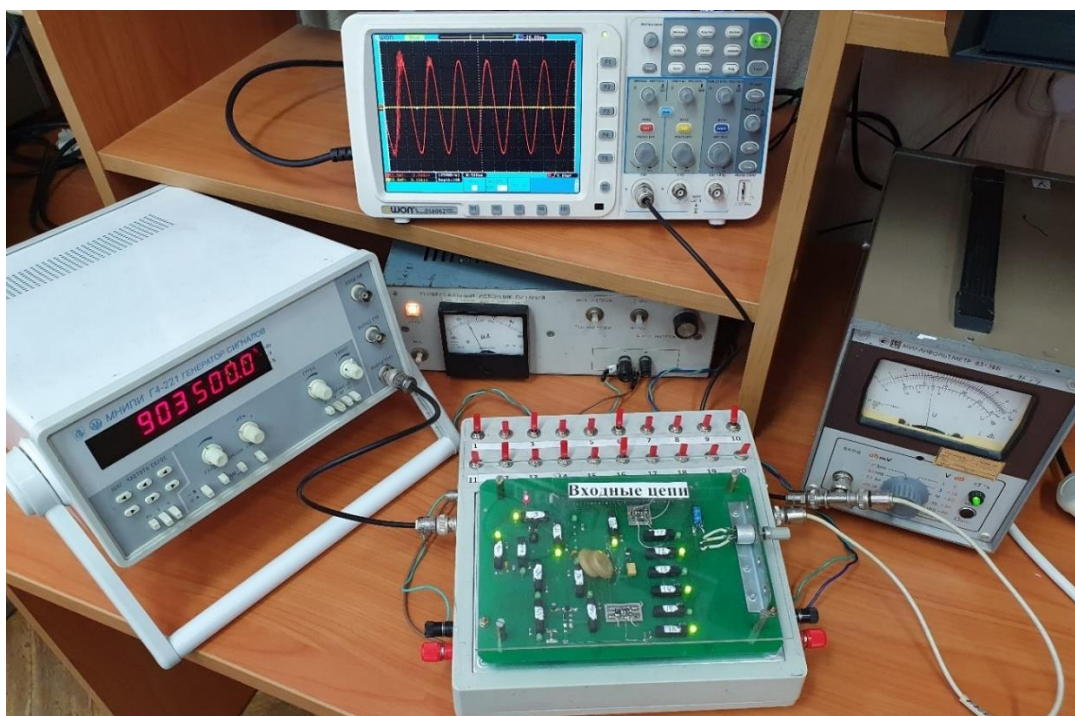
**Пример разработки учебного проекта**

Несмотря на кажущуюся простоту разработки программных модулей с помощью LabVIEW, тем не менее проявляются некоторые особенности, связанные с применением как элементов управления на лицевой панели, так и элементов блок-схем из стандартных библиотек. И в первую очередь, конечно, это связано именно с достоинствами LabVIEW – просто огромным количеством входящих даже в базовую

конфигурацию элементов управления и функций. Всё остальное связано с наличием (или отсутствием) практических навыков и *опыта работы* в среде *LabVIEW*, которая, начиная с 1986 г., продолжает совершенствоваться и дополняться.

После многочисленных экспериментов на кафедре информационных радиотехнологий (ИРТ) БГУИР были выработаны некоторые общие подходы к оформлению интерфейса и формированию блок-схем модулей при разработке виртуальных лабораторных стендов для изучения усилительно-преобразовательных трактов радиоприёмных устройств. В качестве примера ниже представлены результаты учебного проекта, целью которого была разработка виртуального аналога физического лабораторного стенда для изучения входных цепей (ВЦ) радиоприёмного устройства (рисунок 1) с помощью *LabVIEW*.

С точки зрения качества обучения при выполнении виртуальных лабораторных работ (ВЛР) важно не только изучение скрытых физических процессов, происходящих в устройствах. При обучении на первый план следует также выносить вопросы схемотехники, т.е. изучение принципиальных электрических схем отдельных каскадов. Поэтому все компоненты должны иметь стандартные условные графические обозначения (УГО) и отображаться в соответствии с действующими нормативными документами. В связи с этим все разрабатываемые интерфейсы (передние панели) ВЛР должны быть обеспечены субпанелями с принципиальными или функциональными схемами, выполненными в соответствии с ЕСКД.



**Рис. 1.** Рабочее место лабораторной работы “Входные цепи”

При проведении работ по этапу 1 выяснилось, что для создания действительно интерактивного виртуального стенда требуется конструирование дополнительных элементов управления с необходимым функционалом, которых нет в *LabVIEW*. Это касается, в частности, элементов коммутации и сигнализации палитры Boolean на принципиальной электрической схеме модуля. В представленном учебном проекте элементы коммутации “Vertical Toggle Switch” и “Horizontal Toggle Switch” были дополнены УГО. Такой элемент управления представлен на рисунке 2,а и рисунке 3,а для состояний “On – включено” (True) и “Off – выключено” (False). Для улучшения визуального эффекта на созданный элемент управления Boolean дополнительно нанесён элемент “Round LED” из палитры Boolean, имитирующий светодиод. В результате получен новый визуальный элемент управления, представленный на рисунке 2, б и рисунке 3, б в состояниях “On – включено” (True) и “Off – выключено” (False). В стандартной библиотеке *LabVIEW* среди элементов палитры Numeric, таких как Knob и Dial, также отсутствуют многооборотные элементы, аналогичные переменным конденсаторам или резисторам. Этот недостаток устраняется конструированием нового элемента управления путём объединения и соответствующего программирования элементов Gauge и Knob (рисунок 4). Также отсутствуют элементы аналогичные галетным переключателям (рисунок 5), их тоже приходится разрабатывать самостоятельно.

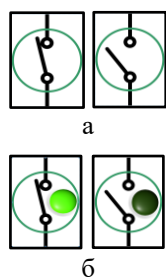


Рис. 2. Вертикальное Реле

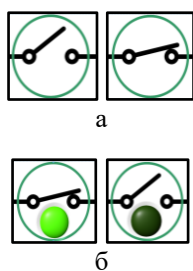


Рис. 3. Горизонтальное реле

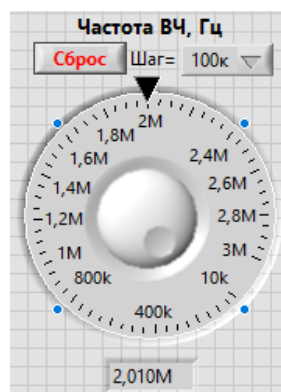


Рис. 4. Многооборотный регулятор частоты

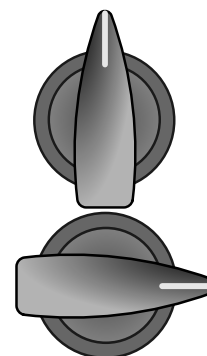


Рис. 5. Галетный переключатель

Перечень недостающего, конечно же, неполный и зависит от требуемого функционала реальных компонентов физических макетов. Но разработчики LabVIEW обеспечили пользователей необходимыми для доработки инструментами [5]. Много полезных идей можно почерпнуть также на форумах LabVIEW Portal [6].

Интерфейс (лицевая панель) разработанного программного модуля содержит две вкладки (Page) на основе элемента “Tab Control”: “Измерение” и “Схема”. На вкладке “Измерение” (рисунок 6) размещены все измерительные приборы и компоненты, параметры которых должны изменяться в процессе исследований. На вкладке “Схема” (рисунок 7) размещены сама электрическая принципиальная схема модуля и все элементы коммутации на схеме, а также текстовые окна (Label) с необходимыми пояснениями по назначению всех виртуальных реле и режимов работы модуля. Здесь, насколько это возможно, соблюдался принцип максимального подобию виртуального и физического стендов с точки зрения визуального сходства.

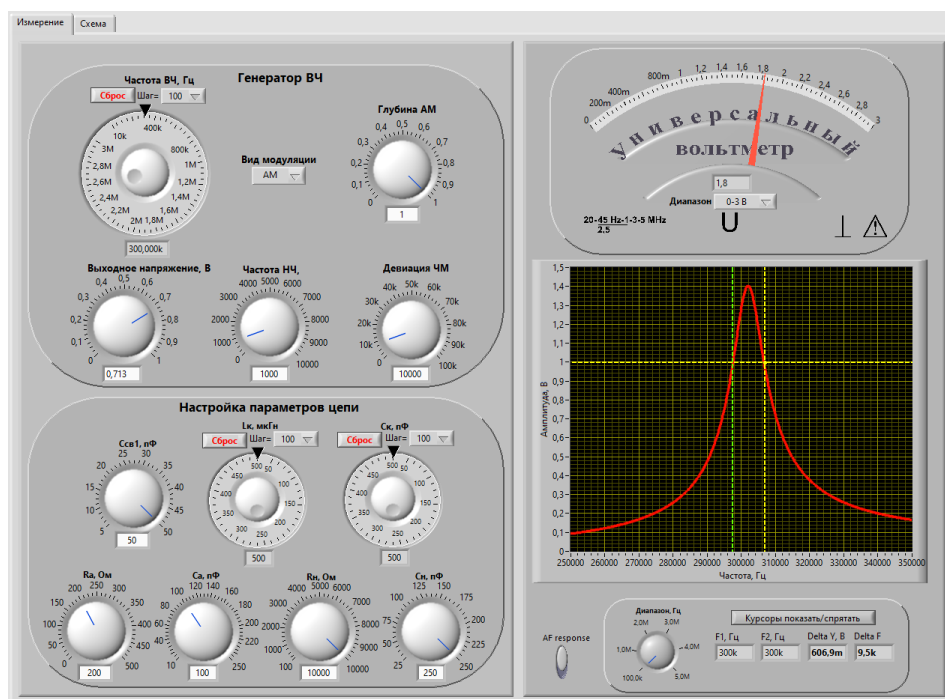


Рис. 6. Вкладка измерительных приборов

На этапе работы с блок-схемой разработки математической модели было решено реализовать на элементах “Formula Node” и “Case Structure”. В структуре “Formula Node” размещается вся подготовительная математика, с помощью которой на языке С описываются все импедансы и адмиттансы, необходимые для составления моделей пассивных и активных компонентов цепи. Для этого входными

переменными для структуры “Formula Node” устанавливаются ёмкости, индуктивности и сопротивления всех переменных или подстроечных конденсаторов, индуктивностей и резисторов пассивных элементов реальной цепи, а также при необходимости первичные параметры активных (усилительных) компонентов цепи, которые могут изменяться в процессе моделирования. Все остальные постоянные переменные инициализируются в самой структуре “Formula Node”. Выходными переменными для “Formula Node” являются результаты расчёта всех необходимых действительных и мнимых составляющих полных импедансов и адмиттансов компонентов цепи.

Математическое моделирование направлено на получение адекватной системы уравнений, описывающих все исследуемые процессы в устройстве. При исследовании реальных электрических цепей основной характеристикой (критерием правдоподобия), пожалуй, является передаточная функция устройства. Принципиальная электрическая схема электрической цепи как элемент аналитической модели устройства представляет собой основу для формирования системы алгебраических уравнений по законам Кирхгофа. От полноты схемы зависит точность описания, например, частотных характеристик цепи. Лучшим выбором будет формирование передаточной функции непосредственно по схеме на основе теории сигнальных графов. Это существенно упростит получение необходимого решения системы исходных уравнений в комплексном виде. Поэтому вся дальнейшая основная работа реализована с помощью структуры “Case Structure” и графического описания всех необходимых расчётов над комплексными переменными. LabVIEW располагает достаточным набором функций для работы с комплексными величинами на палитре Complex. Число вариантов выбора в “Case Structure” зависит от числа исследуемых характеристик модуля. Это могут быть передаточные функции, АЧХ, переходные процессы, временные и спектральные характеристики сигналов и т.д.

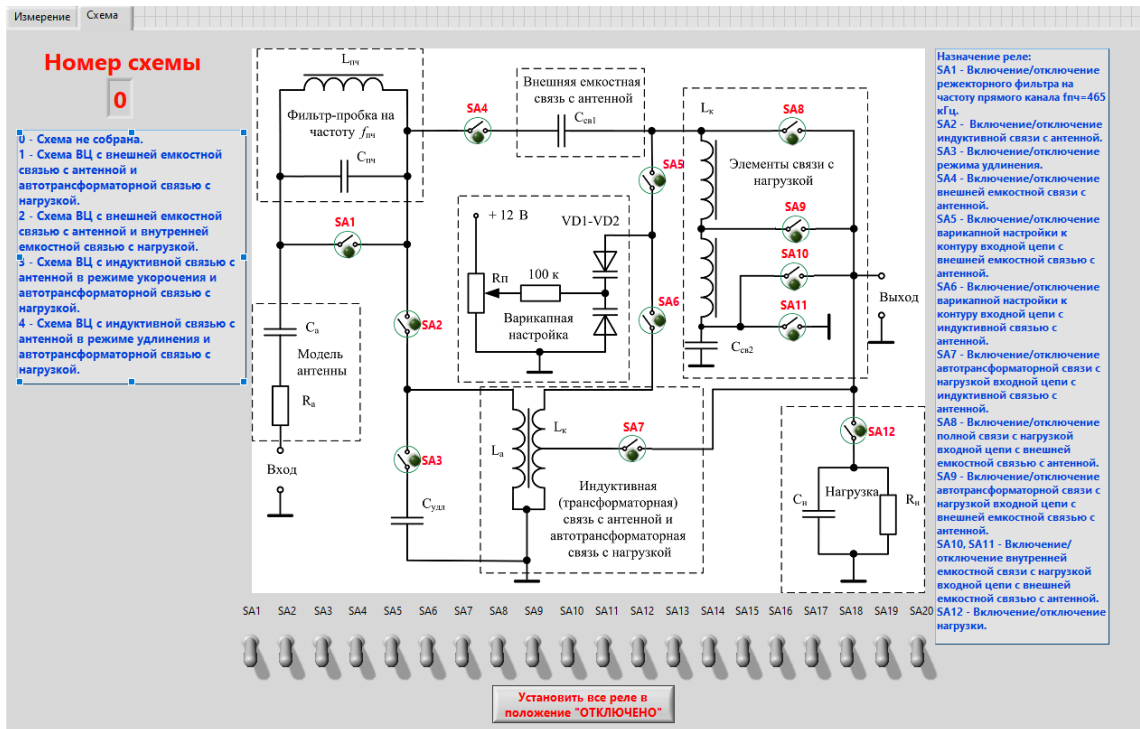


Рис. 7. Вкладка принципиальной схемы модуля

Схема ВЦ, соответствующая рисунку 7 при включении реле SA4, SA5, SA9, SA11, SA12, в упрощённом виде представлена на рисунке 8. Это схема ВЦ радиоприёмного устройства с внешней ёмкостью связи с антенной, автотрансформаторной связью с нагрузкой и режекторным фильтром на входе, настроенным на промежуточную частоту. На рисунке 9 представлена блок-схема для расчёта модуля передаточной функции этой цепи. На блок-схеме задействованы элементы палитры Complex “Re/Im To Complex” и “Complex To Polar”, при этом LabVIEW автоматически настраивает функции “Divide Function”, “Add Function”, “Multiply Function” и константы на комплексные вычисления. Входными переменными для “Case Structure” в данном случае являются параметры элементов цепи: импеданс антенны ( $Z_{ant}$ ), импеданс ёмкости связи ( $Z_{cv}$ ), импедансы ветвей режекторного контура ( $Z_{Lreject}$ ,  $Z_{Creject}$  и  $R_{reject}$ ), адмиттанс ёмкости контура ( $Y_{ck}$ ), импеданс катушки индуктивности контура ( $Z_{Lk}$ ), состоящей из индуктивностей  $L_{k1}$ ,  $L_{k2}$  с омическими потерями в виде  $R_{p1}$  и  $R_{p2}$ , резистанс нагрузки ( $R_n$ ).

Передаточная функция цепи соответствует выражению

$$\text{funK} = \frac{1}{Y_{Cn} + Y_{Ck} + \frac{1}{Z_{Lk}} + \frac{1}{R_n}} \cdot \frac{1}{\frac{1}{Y_{Cn} + Y_{Ck} + \frac{1}{Z_{Lk}} + \frac{1}{R_n}} + Z_{ant} + Z_{cv} + \frac{1}{\frac{1}{Z_{Lreject}} + \frac{1}{Z_{Creject}} + \frac{1}{R_{reject}}}}. \quad (1)$$

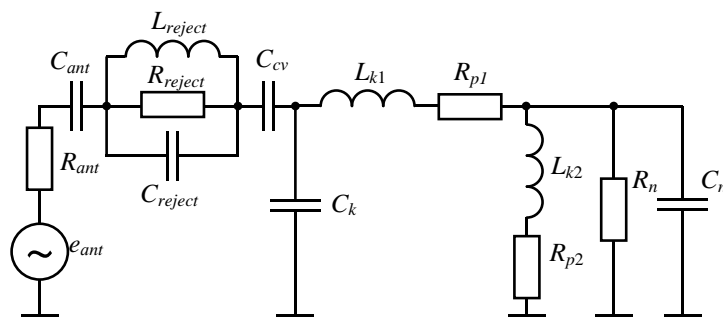


Рис. 8. Схема анализируемой ВЦ

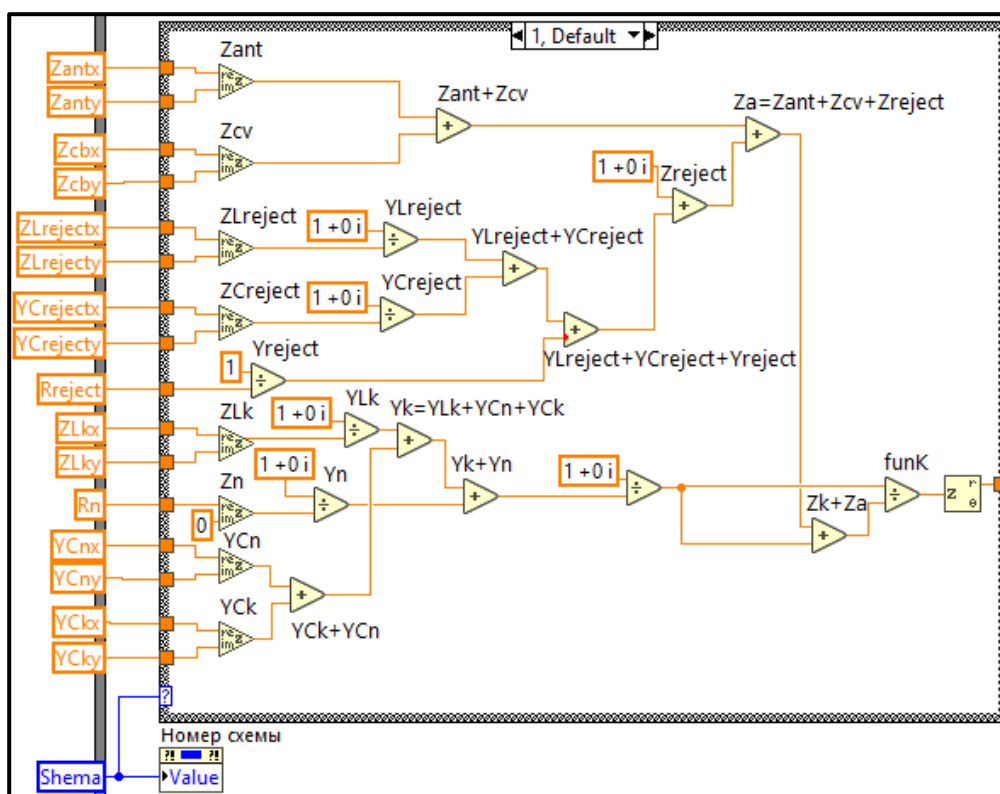


Рис. 9. Блок-схема расчёта коэффициента передачи ВЦ

Анализ блок-схемы рисунка 9 позволяет легко установить соответствие результата вычислений, получаемого с помощью графических образов (элемент funK на рисунке 9), выражению (1).



### **Заключение**

Рассмотренные выше приёмы и подходы при реализации виртуального аналога учебно-лабораторного стенда схмотехнической направленности приняты за основу для всех дальнейших разработок, что позволило унифицировать и упростить процедуру составления математических моделей пассивных и активных цепей в LabVIEW. Таким образом реализовано несколько виртуальных лабораторных модулей для математического моделирования в программной среде LabVIEW. Результаты моделирования хорошо согласуются с данными, полученными как в ходе физического эксперимента при исследовании ВЦ с помощью лабораторного стенда (рисунок 1), так и при проверочном моделировании с помощью программы схмотехнического моделирования Multisim.

### **Список использованных источников**

1. Цыбов, Н.Н. Исследование и анализ возможностей программной среды проектирования LabVIEW, Electronics Workbench, Multisim, Allegro Cadence для разработки учебных виртуальных электронных лабораторий [Электронный ресурс] / Н.Н. Цыбов. - Режим доступа: <https://arch.kyrlibnet.kg/?&npage=download&nadd=18918>. – Дата доступа: 15.07.2024.
2. Колесникова Т. Работа с виртуальными приборами в программной среде NI Circuit Design Suite — Multisim 12.0. Часть пятая // Компоненты и технологии. 2014. № 5.
3. Евдокимов, Ю.К. LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора / Ю. Евдокимов, В.Р. Линдваль, Г.И. Щербаков. - Москва : ДМК Пресс, 2009. - 400 с.
4. Колесникова Т. Работа с виртуальными приборами LabVIEW в программной среде Multisim 14.0 // Компоненты и технологии. 2016. № 3.
5. Creating Custom Controls, Indicators, and Type Definitions [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/labview/page/creating-custom-controls-indicators-and-type-definitions.html>. – Дата доступа: 15.07.2024.
6. Форум инженеров - [LabVIEW Portal](https://labviewportal.org/viewforum.php?f=42) [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://labviewportal.org/viewforum.php?f=42>. – Дата доступа: 15.07.2024.