

**Н. В. АНИЩЕНКО, С. А. АЛЕХИН**

**СОЗДАНИЕ КАРМАННЫХ ЛАБОРАТОРИЙ НА КАФЕДРЕ  
«АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ» НТУ «ХПИ»**

Рассматривается создание карманной лаборатории с использованием портативного устройства сбора данных NI myDAQ для изучения способов регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока. Разработан виртуальный прибор лабораторной установки с двигателем типа P92. Дано описание лабораторной установки и порядок проведения лабораторной работы. Приведены результаты выполнения экспериментов для регулирования частоты вращения двигателя при изменении сопротивления обмотки якоря, напряжения питания обмотки якоря и магнитного потока.

**Ключевые слова:** карманные лаборатории, двигатель постоянного тока, угловая скорость вращения, частота вращения, устройство сбора данных, виртуальный прибор, плата управления, структурная схема.

**М. В. АНИЩЕНКО, С. О. АЛЬОХІН**

**СТВОРЕННЯ КИШЕНЬКОВИХ ЛАБОРАТОРІЙ НА КАФЕДРІ  
«АВТОМАТИЗОВАНІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ НТУ «ХПІ»**

Розглядається створення кишенькової лабораторії з використанням портативного пристрою збору даних NI myDAQ для вивчення способів регулювання частоти обертання двигуна постійного струму. Розроблений віртуальний прилад лабораторної установки з двигуном типу P92. Наданий опис лабораторної установки та порядок проведення лабораторної роботи. Приведені результати виконання експериментів для регулювання частоти обертання двигуна при зміні опору обмотки якоря, напруги живлення обмотки якоря та магнітного потоку.

**Ключові слова:** кишенькові лабораторії, двигун постійного струму, кутова швидкість обертання, частота обертання, пристрій збору даних, віртуальний пристрій, плата керування, структурна схема.

**M. V. ANISHCHENKO, S. O. ALOKHIN**

**CREATION THE POCKET LABS ON THE DEPARTMENT OF  
«AUTOMATED ELECTROMECHANICAL SYSTEMS» NTU «KHPI»**

Presentation of a pocket laboratory developed at the department of automated electromechanical systems. The laboratory is used to study ways of the rotational speed of DC motors control. The lab uses NI myDAQ portable data acquisition devices. When performing laboratory work, various procedures can be implemented using LabView virtual instruments. A virtual instrument model of the laboratory installation with a P92 type DC motor has been developed. A description of the laboratory installation and the order procedure for performing of the laboratory work are given. In the course of laboratory studies, methods for controlling the rotational speed are considered by changing the magnitude of the resistance of the armature winding, the supply voltage of the armature winding, and magnetic flux. The results of experiments are given. The introduction of pocket laboratories in the educational process increases the ability of students to study DC motors. Thanks to the use of portable data acquisition devices, you can perform research at a convenient time and place.

**Keywords:** pocket labs, direct current motor, rotational speed, rotational frequency, data acquisition device, virtual instrument, control board, block diagram.

**Введение.** В период с 2017 по 2019 годы кафедра автоматизированные электромеханические системы НТУ «ХПИ» принимала участие в международном проекте ERASMUS+ KA1: учебная (академическая) мобильность (2017-1-AT01-KA107-034693-226/19/17). Партнёром проекта со стороны ЕС был технический университет Каринтия / Каринтия университет прикладных наук (FH Kärnten/ Carinthia University of Applied Sciences – CUAS).

Цель проекта заключалась в передаче знаний в области технологий усовершенствованного обучения и нетрадиционной системы выполнения лабораторных работ. При использовании этих технологий студенты могут выполнять лабораторные работы в самостоятельно выбранном месте и в удобное им время.

В учебном процессе в современных условиях получили распространение два нетрадиционных метода выполнения лабораторных работ:

1. «Удалённые лабораторные работы» – Remote Labs. На кафедре «Автоматизированные электромеханические системы» лаборатория с удалённым управлением создана на оборудовании компании National

Instruments (NI) во время выполнения проекта TEM-PUS [1].

2. «Карманные лабораторные работы» – Pocket Labs. В рамках выполнения проекта ERASMUS+ KA1 изучался опыт Carinthia University of Applied Sciences (Австрия) по использованию в учебном процессе карманных лабораторий [2, 3]. Во время обучения в университете прикладных наук студенты ознакомились с устройством сбора данных NI myDAQ в качестве оборудования для реализации карманных лабораторий.

**Цель работы.** Представление разработанной на кафедре «Автоматизированные электромеханические системы» карманной лаборатории для изучения способов регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока (ДПТ) с использованием портативных устройств сбора данных NI myDAQ. Приведено краткое описание лабораторной установки, порядок выполнения и результаты проведения экспериментов.

**Объект исследования.** Для выполнения лабораторной работы используется модель двигателя постоянного тока типа P92, разработанная в среде программирования NI Labview (виртуальный прибор).

© Н. В. Анищенко, С. А. Алехин, 2019

Номинальные параметры двигателя [4]: номинальная мощность  $P_N = 32$  кВт; номинальная частота вращения  $n_N = 750$  об/мин; момент инерции якоря  $J = 1,75$  кгм<sup>2</sup>; номинальное напряжение питания обмотки якоря  $U_{aN} = 440$  В; номинальный ток обмотки якоря  $I_{aN} = 85$  А; сопротивление обмотки якоря  $R_a = 0,69$  Ом; коэффициент внутренней обратной связи по ЭДС двигателя при номинальном магнитном потоке  $k\Phi_N = 5,14$  Вс/рад.

**Описание лабораторной установки.** Для выполнения лабораторной работы необходимо оборудование и программное обеспечение:

- персональный компьютер с установленным пакетом программ (драйверов) NI ELVISmx и средой программирования NI Labview;
- устройство сбора данных NI myDAQ с USB-кабелем (рис. 1);
- плата управления (рис. 2);
- модель лабораторной установки с двигателем постоянного тока в среде программирования NI Labview (виртуальный прибор).

Устройства сбора данных NI myDAQ [5] используют технологию виртуальных приборов NI LabVIEW [6], что позволяет студентам измерять параметры сигналов (например, данные датчиков) и анализировать их в реальном масштабе времени. Устройство NI myDAQ обеспечивает функции аналогового ввода, аналогового вывода, цифрового ввода и вывода, аудио ввода и выхода, содержит источник питания и цифровой мультиметр. Мультиметр обеспечивает измерение постоянного и переменного напряжения (тока), сопротивления и проверку диодов. Подключение к персональному компьютеру выполняется через кабель USB.

Плата управления (рис. 2) при помощи разъема подключается к устройству NI myDAQ. На плате установлены 4 переключателя S1–S4, соединенные с цифровыми входами/выходами D0–D3. Соответствующий переключатель выбирает один из четырех экспериментов выполнения лабораторной работы.

Каждый эксперимент позволяет реализовать один из способов регулирования скорости вращения двигателя постоянного тока: изменением сопротивления обмотки якоря, изменением напряжения питания обмотки якоря и изменением величины магнитного потока обмотки возбуждения. Кроме того, возможно изменение нагрузки на двигателе.

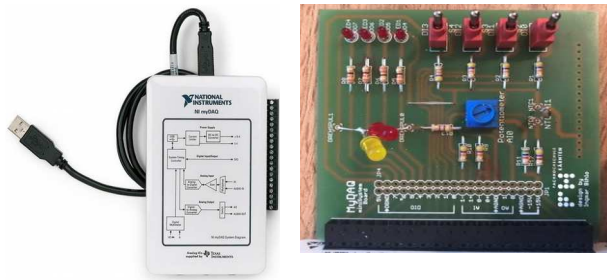


Рисунок 1 – Внешний вид устройства NI myDAQ с USB-кабелем  
Рисунок 2 – Плата управления

Регулирование любого из параметров в модели двигателя задается при помощи потенциометра AI0. Цифровые входы/выходы D4–D7 управляют 4 светодиодами.

Модель лабораторной установки с двигателем постоянного тока (рис. 3) разработана с помощью пакета Control Design and Simulation Module среды программирования Labview. Пакет содержит все необходимые компоненты для создания виртуального прибора. Модель двигателя реализована в Control & Simulation Loop. Блок DAQ Assistant обеспечивает выбор параметра двигателя задающего или возмущающего воздействия и их регулирование при помощи потенциометра AI0.

Блоки DAQ Assistant 2–5 реализуют управление светодиодами на плате управления (рис. 2). Блок DAQ Assistant 2 – сигнализирует о подаче питания на модель двигателя. DAQ Assistant 3 – срабатывает при условии, что скорость вращения двигателя равна или меньше нуля. DAQ Assistant 4 – включается, когда величина нагрузки будет равна номинальному значению. DAQ Assistant 5 – сигнализирует о том, что скорость вращения двигателя равна или меньше нуля при заданном значении добавочного сопротивления в цепи обмотки якоря. В блоках SubVI находятся ключи, которые задают начало регулирования конкретного параметра двигателя, а также округление значений входного сигнала с потенциометра для повышения точности работы системы.

Лицевая панель виртуального прибора лабораторной установки представлена на рис. 4.

Кнопка «Power on» подает питание на установку и двигатель. Правое окно осциллографа показывает изменение скорости вращения в процессе симуляции, а левое окно – изменение скорости вращения за весь период моделирования. Аналогично на экран можно выводить значение сопротивления, напряжения, магнитного потока и момента нагрузки. Также на лицевую панель выводятся начальные параметры двигателя, а так же параметры, регулируемые во время проведения эксперимента.

**Обсуждение результатов.** Для выполнения лабораторной работы необходимо соединить управляющую плату с устройством сбора данных NI myDAQ и запустить виртуальный прибор лабораторной установки в среде программирования LabVIEW.

При выполнении лабораторной работы студент выбирает необходимый способ регулирования угловой скорости вращения и может сравнить данные, полученные в результате эксперимента, с данными, рассчитанными теоретически на основе уравнения электромеханической характеристики двигателя постоянного тока:

$$\Omega = (U_a - R_a \cdot I_a) / K \cdot \Phi, \quad (1)$$

где  $\Omega$  – угловая скорость вращения якоря двигателя,  $U_a$  – напряжение питания обмотки якоря,  $R_a$  – сопротивление обмотки якоря,  $I_a$  – ток обмотки якоря,  $K$  – конструктивный коэффициент двигателя,  $\Phi$  – магнитный поток.

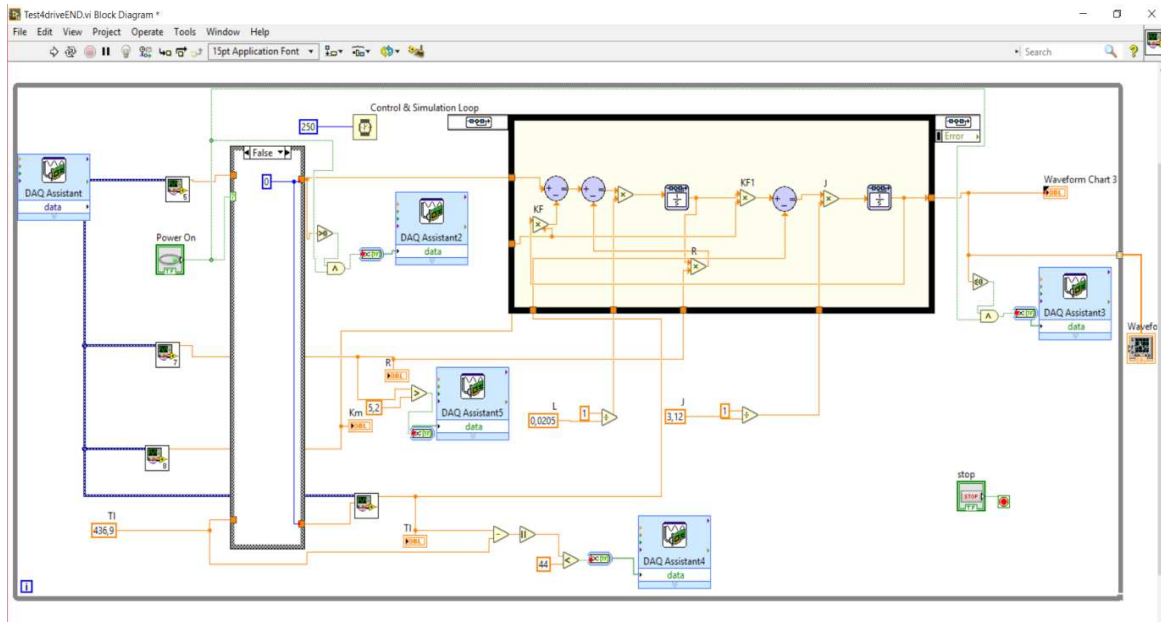


Рисунок 3 – Структурная схема виртуального прибора лабораторной установки

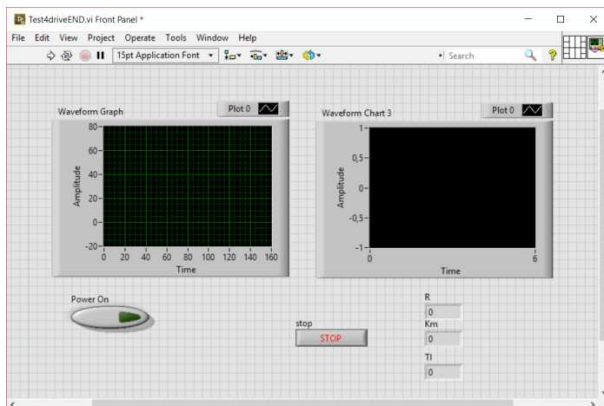


Рисунок 4 – Лицевая панель виртуального прибора

Для определения скорости вращения при изменении сопротивления обмотки якоря необходимо запустить модель, включить ключ DI1 на плате управления и задать необходимые значения сопротивления. В качестве примера в табл. 1 приведены значения сопротивления и соответствующие значения угловой скорости вращения, которые получены в результате эксперимента и рассчитанные по формуле (1).

Таблица 1 – Данные эксперимента

Значение R, Ом	1.3	1.7	2	3.2	4.3	5
$\Omega$ , рад/с (эксп.)	63.7	57.5	52.8	32.4	14.8	2.79
$\Omega$ , рад/с (теор.)	64.2	57.6	52.6	32.7	14.5	2.92

График изменения угловой скорости вращения при изменении величины сопротивления приведен на рис. 5. В окне слева показан переходной процесс изменения угловой скорости. Участки, на которых скорость длительное время не изменяется – это участки при заданных неизменных значениях сопротивления в соответствии с табл. 1.

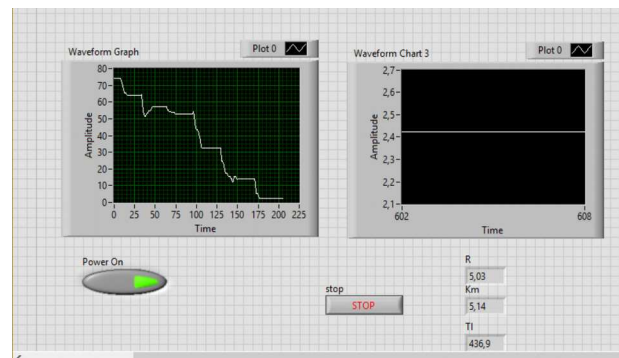


Рисунок 5 – График изменения скорости при изменении сопротивления

Для определения скорости вращения при изменении напряжения питания обмотки якоря необходимо запустить модель, включить ключ DI2 на плате управления и задать необходимые значения напряжения питания.

В качестве примера в табл. 2 приведены значения напряжения питания и соответствующие значения угловой скорости вращения, которые получены в результате эксперимента и рассчитанные по (1).

Таблица 2 – Данные эксперимента

Значения U, В	400	370	250	210	150	53
$\Omega$ , рад/с (эксп.)	65.6	60.5	36	29.6	17.7	-1.13
$\Omega$ , рад/с (теор.)	66.5	60.69	37.3	29.5	17.8	-1.2

График изменения угловой скорости вращения при изменении величины напряжения питания приведен на рис. 6. В окне слева показан переходной процесс изменения угловой скорости. Участки, на которых скорость длительное время не изменяется – это участки при заданных неизменных значениях напряжения питания в соответствии с табл. 2.

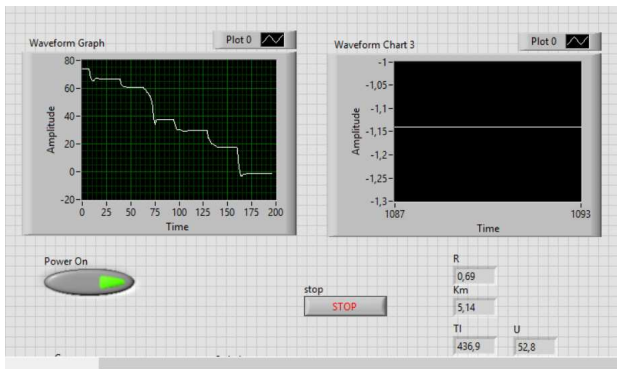


Рисунок 6 – График изменения скорости при изменении напряжения питания

Для определения скорости вращения при изменении магнитного потока обмотки возбуждения необходимо запустить модель, включить ключ DI3 на плате управления и задать необходимые значения магнитного потока. В табл. 3 приведены значения магнитного потока и соответствующие значения угловой скорости вращения, которые получены в результате эксперимента и рассчитанные по формуле (1).

Таблица 3 – Данные эксперимента

Значение КФ, Вс/рад	4.4	3.7	3.3	2.6	2.1	1.5
$\Omega$ , рад/с (эксп.)	83.5	96.5	106.6	126	140.4	159.1
$\Omega$ , рад/с (теор.)	84.4	96.9	105.7	124.7	141.3	159.6

График изменения угловой скорости вращения при изменении величины магнитного потока приведен на рис. 7. В окне слева показан переходный процесс изменения угловой скорости. Участки, на которых скорость длительное время не изменяется – это участки при заданных неизменных значениях магнитного потока в соответствии с табл. 3.

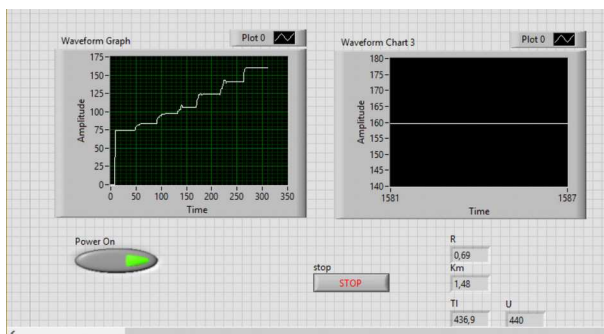


Рисунок 7 – График изменения скорости при изменении магнитного потока

В дальнейшем при развитии лабораторной работы имеется возможность создания базы данных двига-

телей различных типов (постоянного и переменного тока) с различными номинальными параметрами.

**Выводы. 1.** Разработан виртуальный прибор лабораторной установки для исследования способов регулирования угловой частоты вращения двигателей постоянного тока с использованием портативного устройства сбора данных NI myDAQ. **2.** Приведены результаты экспериментальных исследований регулирования частоты вращения при изменении сопротивления обмотки якоря, напряжения питания обмотки якоря и магнитного потока.

#### Список литературы

1. Анищенко Н. В., Тимошенко А. В., Ткаченко А. А. Создание на кафедре «Автоматизированные электромеханические системы» НТУ «ХПИ» удаленной лаборатории. Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Харків: НТУ «ХПИ», 2015, Вип. 112 (1121). С. 33 – 38.
2. Klinger T., Madritsch C. Collaborative Learning using Pocket Labs. *Proceedings of the 9th International Conference on Interactive Mobile Communication Technologies and Learning*. Thessaloniki, Greece, 2015. pp. 185 – 189.
3. Madritsch C., Klinger T., Pester A., Schwab W. *Work in Progress: Using Pocket Labs in Master Degree Programs*. In book 2: *Interactive Collaborative Learning: Proceedings of the 19th ICL Conference* / Auer M., Guralnick D., Uhomobhi J. Cham: Springer, vol 545. pp 54 – 59. DOI: 10.1007/978-3-319-50340-0.
4. *Справочник по электрическим машинам: справочник*. В 2 т. Т. 1 / Под общ. ред. И. П. Копылова, Б. К. Клокова. URL: <https://www.proektant.org/arh/1061.html>. (дата обращения 27.03.2015).
5. *Устройство сбора данных NI myDAQ – руководство по эксплуатации*. URL: <http://russia.ni.com>. (дата обращения 15.03.2019).
6. *Labview – руководство пользователя*. URL: <http://russia.ni.com>. (дата обращения 15.03.2019).

#### References (transliterated)

1. Anishchenko N. V., Timoshchenko A. V., Tkachenko A. A. Soznanie na kafedre «Avtomatizirovannye elektromekhanicheskie sistemy» NTU «KPI» udalenoj laboratorii [Creation on the department "Automated electromechanical systems" NTU "KhPI" the remote lab]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»* [Bulletin of the National Technical University «KhPI»]. Kharkiv: NTU «KhPI», 2015, Vyp. 112 (1121). pp. 33 – 38.
2. Klinger T., Madritsch C. Collaborative Learning using Pocket Labs. *Proceedings of the 9th International Conference on Interactive Mobile Communication Technologies and Learning*. Thessaloniki, Greece, 2015. pp. 185 – 189.
3. Madritsch C., Klinger T., Pester A., Schwab W. *Work in Progress: Using Pocket Labs in Master Degree Programs*. In book 2: *Interactive Collaborative Learning: Proceedings of the 19th ICL Conference* / Auer M., Guralnick D., Uhomobhi J. Cham: Springer, vol 545. pp 54 – 59. DOI: 10.1007/978-3-319-50340-0.
4. *Spravochnik po jelektricheskim mashinam: spravochnik* [Handbook of electric motors]: V 2 t. T. 1 / Pod obshh. red. I. P. Kopylova, B. K. Klokova. URL: <https://www.proektant.org/arh/1061.html>. (accessed 27.03.2015).
5. *Ustrojstvo sbora dannyh NI myDAQ – rukovodstvo po jekspluatacii* [Data Acquisition Device NI myDAQ – User Guide]. URL: <http://russia.ni.com>. (accessed 15.03.2019).
6. *Labview – rukovodstvo pol'zovatelja* [Labview – User Manual]. URL: <http://russia.ni.com>. (accessed 15.03.2019).

Посмунла 25.06.2019

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Аніщенко Микола Васильович (Анищенко Николай Васильевич, Anishchenko Mykola Vasylovych)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри автоматизованих електромеханічних систем; м. Харків, Україна; e-mail: annikolay@ukr.net

**Альохін Сергій Олексійович (Алехин Сергей Алексеевич, Alokhin Serhii Oleksijovych)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», магістрант кафедри автоматизованих електромеханічних систем; м. Харків, Україна; e-mail: serega.alokhin@gmail.com