

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-1-16-22

УДК 62:620.1: 378.147.88

**МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ТЕСТОВЫХ ИСПЫТАНИЙ DIY-ПРОЕКТОВ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТНОЙ
РАБОТЫ В РАМКАХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ**

**METHODOLOGY FOR CONDUCTING DIY-PROJECTS TESTS OF PROCESS
EQUIPMENT WHEN IMPLEMENTING DESIGN WORK IN THE FRAMEWORK
OF THE EDUCATIONAL PROCESS OF TRAINING ENGINEERING TECHNICAL
SPECIALISTS**

Михалев Андрей Михайлович,

канд. техн. наук, доцент, e-mail: DrDrew@mail.ru

Andrey M. Mikhalev, C. Sc. in Engineering, Associate Professor

Давыдова Марина Вадимовна,

канд. техн. наук, доц., директор политехнического института,

e-mail: m.v.davydova@mail.ru

Marina V. Davydova,

C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Director of Polytechnical Institute,

e-mail: m.v.davydova@mail.ru

Курганский государственный университет, 640020, Россия, г. Курган, ул. Советская, 63 стр. 4.
Kurgan State University, 4 block, 63 street Sovetskaya, Kurgan, 640020, Russian Federation

Аннотация:

В статье приводится описание методики испытаний DIY-проектов технологического оборудования, которые могут создаваться как индивидуально, так и группами учащихся в рамках проектной работы как части образовательного процесса. Методика позволяет осуществить проверку надежности и стабильности работы созданного технологического оборудования, а также с учетом жестких условий испытаний (цикличность, продолжительность) позволяет получить оценку потенциала устройства и, если такое будет иметь место, выявить его недостатки. Структура методики содержит 3 основных теста, проведение каждого из которых в статье описано подробно – приведены полученные экспериментально параметры испытаний, исходный код необходимого программного обеспечения. Тема проведения испытаний DIY-проектов в условиях учебной лаборатории или же в домашних условиях (условиях гаражной мастерской) в соответствующей литературе рассмотрена недостаточно.

Ключевые слова: *DIY, проектное обучение, технологическое оборудование, испытания, механика, контроллер, прототип.*

Abstract:

The article describes the methodology for testing DIY-projects of technological equipment, which can be created both individually and by groups of students within the framework of project work, as part of the educational process. The technique makes it possible to check the reliability and stability of the operation of the created technological equipment, as well as taking into account the stringent test conditions (cyclicality, duration), it makes it possible to assess the potential of the device, and, if this happens, to identify its shortcomings. The structure of the methodology consists of 3 main tests, each of which is described in detail in the article giving experimentally obtained test parameters and the source code of the required software. The topic of testing DIY projects in a training laboratory or at home (in a garage workshop) has not been sufficiently discussed in the relevant literature.

Key words: *DIY, project training, process equipment, testing, mechanics, controller, prototype.*

Аббревиатура DIY означает «Do It Yourself», что в переводе с английского языка дословно означает «сделай сам». Данное сокращение появилось еще в 50-х годах прошлого века, означая, что каждый может самостоятельно отремонтировать или создавать вещи без обращения к услугам профильных специалистов [1].

В настоящее время DIY-проекты получили огромное распространение благодаря сети Internet и специализированным сайтам – архивам различных готовых и полу-готовых разработок любителей «мастерить» что-то своими руками и бескорыстно делящимся своими работами с целью распространения знаний и умений среди единомышленников [2].

Современная система образования, особенно в части подготовки инженерно-технических специалистов, вводит новые требования к формату учебного процесса, а именно наличие проектной работы среди учащихся как обязательного атрибута, причем данная особенность в последние несколько лет характерна для всех уровней образования, начиная с общего и заканчивая высшим [3,4].

Несомненно, одним из лучших способов реализации проектной работы как индивидуальной, так и групповой для образовательного процесса подготовки инженерно-технических специалистов является разработка и создание DIY-проектов, что позволяет формировать у учащихся полипрофессиональные навыки – конструктора, технолога, электроника, программиста, эксплуатационника и т.д.[5].

Одним из вариантов DIY-проектов в области машиностроения, приборостроения, мехатроники и т.п. является разработка и создание прототипов программно-управляемых устройств – станков, роботов, 3D-принтеров и прочего технологического оборудования [6,7] под определенные заданием на проектирование задачи и технические характеристики. При этом важной частью всего процесса работы над DIY-проектом является процесс его испытаний. Для того, чтобы оценить надежность и работоспособность прототипа устройства (механической, электрической частей и программного обеспечения), необходимо провести несколько испытательных сессий, позволяющих с большой степенью достоверности оценить надежность и работоспособность как отдельных частей устройства, так и их взаимодействия в целом.

Также проведение испытаний, особенно в жестких условиях (цикличность, продолжительность), позволяет получить оценку потенциала устройства, а также, если такое будет иметь место, выявить его недостатки.

Исходя из вышесказанного, была разработана методика проведения тестовых испытаний DIY-проектов технологического оборудования, позволяющая эффективно оценить надежность и работоспособность работы DIY-проекта в условиях учебной лаборатории или же в домашних условиях (условиях гаражной мастерской). Структура методики представлена в таблице 1.

Для обеспечения стабильной работы прототипа важным является его надежная работа в целом и работа его системы управления в

Таблица 1. Структура методики испытаний прототипа DIY-проекта технологического оборудования
 Table 1. Structure of the test procedure for the prototype of the DIY-project of technological equipment

№ п/п	Вид испытательной сессии	Описание	Продолжительность
1.	Испытания надежности работы электрической части прототипа	Выполнение циклически повторяемых действий приводами прототипа (например, шаговыми двигателями [8]) с постоянной нагрузкой на валу (например, с установкой груза на перемещаемый рабочий орган прототипа).	Не менее 10-ти 8-часовых циклов, не менее 5-ти 24 часовых и не менее 1-го 120-часового
2.	Испытания программной и электрической частей прототипа	Выполнение циклически повторяемых действий с контроллером в виде загрузки в память управляющей программы переменной длины (случайного содержания), запуска ее на выполнение и выгрузки	Не менее 10-ти 8-часовых циклов, не менее 5-ти 24 часовых и не менее 1-го 120-часового
3.	Испытания надежности механической части прототипа	Выполнение циклически повторяемых действий по перемещению рабочих органов прототипа	Выполняется одновременно с испытаниями электрической части прототипа

частности. Поэтому в качестве первого объекта испытаний выбирают электрическую часть прототипа, а именно испытание надежности работы приводов прототипа, управляемых контроллером (например, на базе аппаратной вычислительной платформы Arduino [9,10]).

Для имитации условий реальной работы (нагрузки на привода) на рабочем органе прототипа устанавливают груз (как правило, весом ориентировочно от 50 до 75% от веса эквивалентного максимальной нагрузке исполнительного органа проекта технологического оборудования, исходя из технического задания на проектирование).

Для задания перемещения рабочего органа прототипа исходя из параметров его рабочей зоны – Рис. 1 (для примера здесь и далее примем рабочую зону прототипа с цилиндрической системой координат [11]) была разработана управляющая программа [12], перемещающая рабочий орган прототипа по спирали от поверхности стола до максимально возможной высоты рабочей зоны по координате Z (для примера – 250 мм).

// Ускоренное перемещение рабочей платформы в точку с координатами 0,0,0 (центр

// нижней плоскости рабочей зоны (поверхность стола) – начальная

// точка программы;

G0 X0 Y0 Z0

// Перемещение рабочего органа в точку с координатами 125,0,0

// с линейной интерполяцией [13] на рабочем ходу;

G1 X125 Y0

// Перемещение рабочего органа в точку с

координатами 125,0,250

// с винтовой интерполяцией [13] с шагом винтовой линии 0.5 мм с числом витков 500 шт.;

G3 X125 Y0 Z250 I0 J0 K0.5

// Ускоренное перемещение рабочего органа в точку с координатами 0,0,250 –

// центр высоты рабочей зоны;

G0 X0 Y0 Z250

// Перемещение рабочего органа формы в точку с координатами 0,125,250

// с линейной интерполяцией на рабочем ходу;

G1 X0 Y125

// Перемещение рабочего органа в точку с координатами 0,125,0

// с винтовой интерполяцией с шагом винтовой линии 0.5 мм с числом витков 500 шт.;

G3 X0 Y125 Z0 I0 J0 K0.5

// Ускоренное перемещение рабочего органа в точку с координатами 0,0,0 (центр

// нижней плоскости рабочей зоны (поверхность стола) – возврат в начальную

// точку программы;

G0 X0 Y0 Z0

Приведенный фрагмент управляющей программы необходимо повторять в цикле от запуска программы до его остановки по истечении заданного условиями испытаний времени.

После остановки устройства необходимо выполнить замер температур каждого двигателя, драйверов шаговых двигателей (при наличии), чипов на плате контроллера.

По вышеописанной схеме рекомендуется выполнять десять 8-часовых циклов работы устройства, пять 24 часовых циклов работы устройства и один 120 часовый – при этом общая

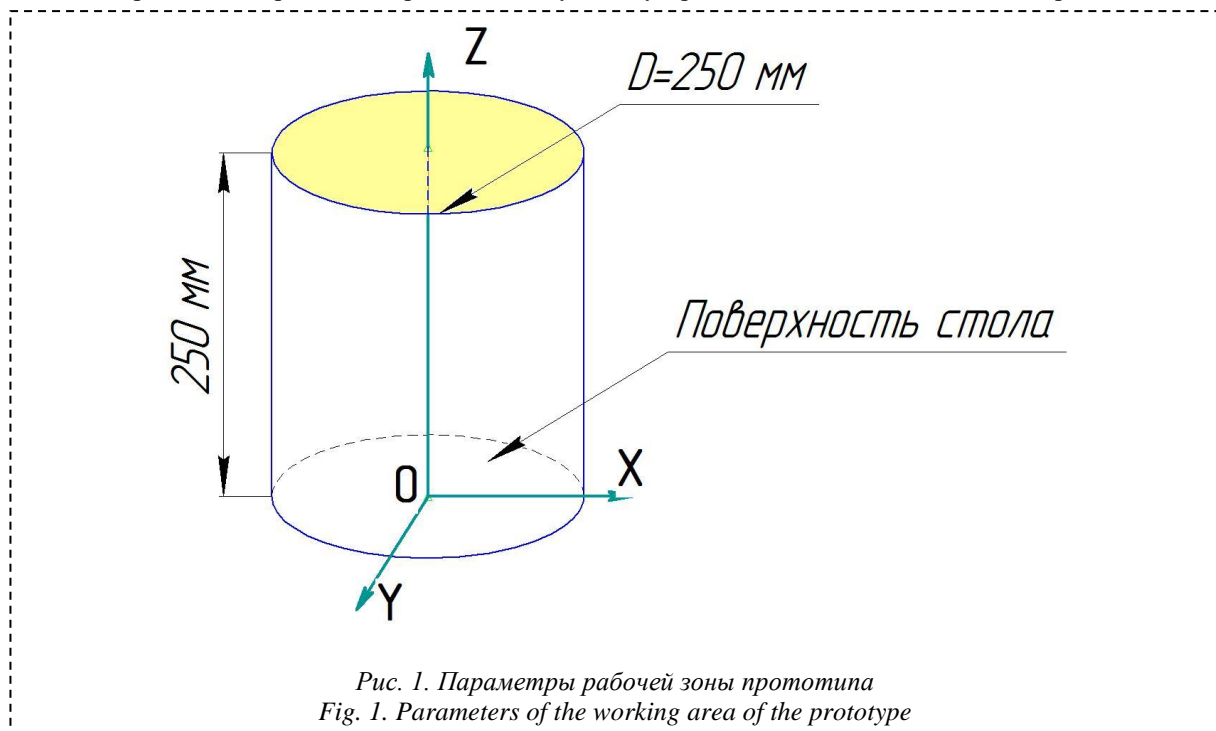


Рис. 1. Параметры рабочей зоны прототипа
Fig. 1. Parameters of the working area of the prototype

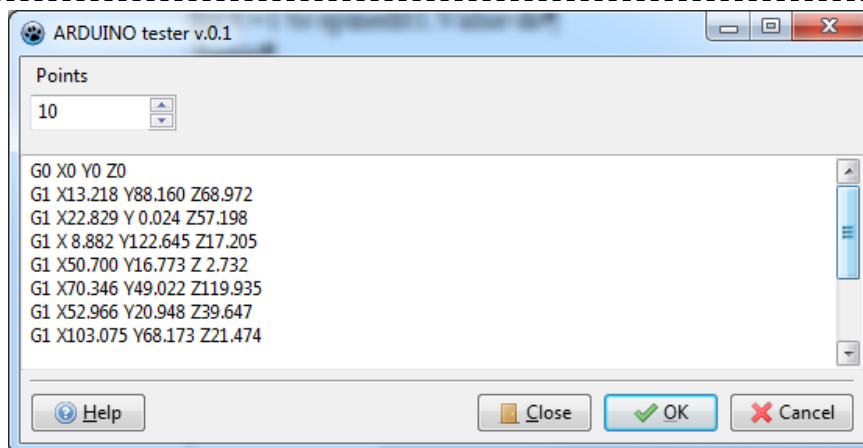


Рис. 2. Утилита для генерации «случайного» G-code на заданное число случайных точек позиционирования

Fig. 2. Utility for generating a 'random' G-code for a given number of random positioning points

продолжительность сессии испытаний ориентировочно должна составить 2 недели.

При проведении данной сессии испытаний, может быть выявлен нежелательный фактор – сравнительно высокая температура шаговых двигателей (более 80°C), драйверов шаговых двигателей (более 60°C) и чипов платы контроллера (более 70°C) после превышения часового периода работы (ориентировочно).

При этом напрямую на работоспособность устройства данный фактор влияния в момент испытаний не оказывает (т.е. сбои могут отсутствовать), но, так как для любого электрического и электронного устройства самым опасным является тепловой пробой (после электрического пробоя в 90% случаев электроника восстанавливается [14]), то в случае появления данного фактора настоятельно рекомендуется снизить температуру штатными средствами, а именно, например, уменьшением силы тока на шаговых двигателях (регулируется на плате драйвера шагового двигателя).

Насколько именно необходимо снизить силу тока, устанавливают при 24-часовых циклах испытаний (1 сутки) на каждом последующем испытании, проводя декремент силы тока на 5% от номинала, при этом после каждого цикла необходимо замерять температуру всех двигателей, драйверов шаговых двигателей, чипов на плате контроллера. Данные действия выполняют до установления приемлемых температур контролируемых объектов.

Эмпирически установлено, что наиболее рационально силу тока на шаговых двигателях устанавливать на 25% ниже номинально рекомендуемой (например, для одного из самых распространенных шаговых двигателей 42BYGHW609 рекомендуется сила тока 1,7А на фазу [15]), что, несомненно, приводит не только к потере мощности, выражающейся в снижении

момента удержания на 35-40%, но и к снижению рабочей температуры шагового двигателя почти на 50%. Снижение момента удержания при этом на силовых параметрах устройства (перемещаемый вес груза 3 кг) почти не сказывается.

Исходя из вышесказанного, для обеспечения более стабильной работы прототипа с точки зрения температурного режима работы можно рекомендовать до 25% снижения силы тока шаговых двигателей.

2. Испытания программной и электрической части устройства

Данную испытательную сессию рекомендуется проводить, используя только контроллер, прошивку и программное обеспечение верхнего уровня для загрузки G-code (управляющей программы) [16] в контроллер, а также зашунтированные драйвера шаговых двигателей (при наличии таковых), то есть управляющие команды не должны передаваться в шаговые двигатели.

Испытания проводят по следующему алгоритму:

Генерация управляющей программы, состоящей из последовательных перемещений рабочего органа устройства, случайное число раз и каждый раз в случайную координату. Для реализации этого была разработана отдельная утилита (Рис. 2).

Фрагмент исходного кода программы, генерирующей последовательность «случайного» G-code для заданного числа точек позиционирования, представлен ниже:

```
const  
maxX = 125;  
maxY = 125;  
maxZ = 125;
```

```

procedure App.OKButtonClick(Sender:
TObject);
var t: integer;
    x,y,z : real;
    sx,sy,sz : string;
begin
out.lines.clear;
out.Lines.Add('G0 X0 Y0 Z0');
Randomize;
for t:=1 to cycles.Value do
begin
x:=(Random(maxX*1000)/1000);
y:=(Random(maxY*1000)/1000);
z:=(Random(maxZ*1000)/1000);
str(x:6:3,sx);
str(y:6:3,sy);
str(z:6:3,sz);
out.Lines.Add('G1 X'+sx+' Y'+sy+' Z'+sz);
end;
out.Lines.Add('G0 X0 Y0 Z0');
end;

```

Например, для 10-ти случайных точек позиционирования управляющая программа, полученная вышеупомянутой утилитой, имеет вид:

```

G0 X0 Y0 Z0
G1 X13.218 Y88.160 Z68.972
G1 X22.829 Y 0.024 Z57.198
G1 X 8.882 Y122.645 Z17.205
G1 X50.700 Y16.773 Z 2.732
G1 X70.346 Y49.022 Z119.935
G1 X52.966 Y20.948 Z39.647
G1 X103.075 Y68.173 Z21.474
G1 X67.418 Y44.013 Z41.760
G1 X13.116 Y87.950 Z107.599
G1 X70.918 Y95.478 Z115.065
G0 X0 Y0 Z0

```

Далее выполняют загрузку управляющей программы в память контроллера и запускают ее

непосредственное выполнение. Если при этом контроллер не выдает статуса ошибки, программа удаляется из памяти контроллера и вся процедура выполняется сначала, до момента прерывания вручную. При возникновении статуса ошибки испытательная сессия должна была быть остановлена, а причины ошибки выявлены и проанализированы.

Выполняется не менее десяти 8-часовых циклов, не менее пяти 24 часовых, и не менее одного 120-часового. Итоговое время испытательной сессии, как правило, составляет 2 недели.

3. Испытания надежности механической части устройства

Основной задачей этой испытательной сессии является проверка надежности сборки конструкции устройства (механической части), натяга (зазора) в посадках и поиск источников нежелательных механических колебаний [17].

Так как особых требований, кроме циклической непрерывной работы устройства, в разных положениях рабочего органа прототипа, как правило, нет, данную испытательную сессию можно совместить с испытательной сессией №1, то есть после остановки прототипа помимо вышеописанных замеров температурных режимов необходимо осуществить проверку состояния механических частей – крепежа, зазоров, а также температур трущихся пар (в виде прикосновения пальцем, или техническим средством измерения температуры).

Вышеописанная методика была получена эмпирическим путем при выполнении ряда DIY-проектов технологического оборудования и рекомендуется к широкому применению. Методика не является жестко регламентированной, и с учетом специфики каждого DIY-проекта может быть адаптирована и усовершенствована.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. DIY [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/DIY> (дата обращения: 18.01.2021).
2. MakerBot Thingiverse [Электронный ресурс]: MakerBot's Thingiverse. – URL: <https://www.thingiverse.com/> (дата обращения: 18.01.2021).
3. Петрунева Р.М., Васильева В.Д. Учебное инженерное проектирование: новые подходы // Инженерное образование –2014. – № 15 [Электронный ресурс]. URL: http://www.aeer.ru/files/io/m15/art_23.pdf (дата обращения: 18.01.2021).
4. Васильева В.Д. Учебное инженерное проектирование в современных условиях обучения в техническом вузе // Психология и педагогика: методика и проблемы практического применения. – 2010. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uchebnoe-inzhenernoe-proektirovanie-v-sovremennyh-usloviyah-obucheniya-v-tehnicheskom-vuze/viewer> (дата обращения: 18.01.2021).

5. Кожевников А.В. Модернизация образовательного процесса в рамках применения мультифункционального подхода при разработке и реализации инженерных образовательных программ на основе стандартов CDIO // Современные научные исследования и инновации. – Май 2014. – № 5 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/05/33974> (дата обращения: 18.01.2021).
6. Проекты [Электронный ресурс]: Федеральная информационная площадка. Элитное техническое образование – URL: <http://eto.tpu.ru/ru-RU/Projects> (дата обращения: 18.01.2021).
7. Ростех выпустил учебного робота для вузов и выложил исходники на Github [Электронный ресурс]: Сайт CNews.ru – URL: https://www.cnews.ru/news/top/2020-06-02_rosteh_vyvodit_na_rynok_uchebnogo (дата обращения: 18.01.2021).
8. Шаговый электродвигатель [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Шаговый_электродвигатель (дата обращения: 18.01.2021).
9. Arduino Home [Электронный ресурс]: Официальный сайт компании Arduino. – URL: <https://www.arduino.cc/> (дата обращения: 18.01.2021).
10. Аппаратная платформа Arduino [Электронный ресурс]: Arduino.RU. – URL: <http://arduino.ru/> (дата обращения: 18.01.2021).
11. Цилиндрическая система координат [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Цилиндрическая_система_координат (дата обращения: 18.01.2021).
12. Серебrenицкий, П.П. Программирование для автоматизированного оборудования: учебник / П.П.Серебrenицкий, А.Г.Схиртладзе. – Москва: Высш. шк. 2003. – 592 с.
13. Ерохин В.В. Выбор методов реализации геометрической задачи управления устройствами ЧПУ в технологическом оборудовании // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2017. – № 1 [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-metodov-realizatsii-geometricheskoy-zadachi-upravleniya-ustroystvami-chpu-v-tehnologicheskom-oborudovanii> (дата обращения: 18.01.2021).
14. Попов А. П., Степанов В. И. Физические основы электроники: Учебное пособие. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2004. – 167 с
15. 42BYGHW609 Datasheet (PDF) - List of Unclassified Manufacturers [Электронный ресурс]: Electronic Components Datasheet Search. – URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1131889/ETC2/42BYGHW609.html> (дата обращения: 18.01.2021).
16. G-code [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/G-code> (дата обращения: 18.01.2021).
17. Журавлев М.П. Исследование и испытание технологических систем : учеб. пособие / М.П. Журавлев. - Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. - 84 с.

REFERENCES

1. DIY [Wikipedia free encyclopedia] – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/DIY> (accessed: 18.01.2021).
2. MakerBot Thingiverse: MakerBot's Thingiverse. – URL: <https://www.thingiverse.com/> (accessed: 18.01.2021).
3. Petruneva R.M., Vasil'eva V.D. Uchebnoe inzhenernoe proektirovanie: novye podkhody // Inzhenernoe obrazovanie – 2014. – № 15. URL: http://www.aeer.ru/files/io/m15/art_23.pdf (accessed: 18.01.2021).
4. Vasil'eva V.D. Uchebnoe inzhenernoe proektirovanie v sovremennykh usloviyakh obucheniya v tekhnicheskoy vuzе // Psikhologiya i pedagogika: metodika i problemy prakticheskogo primeneniya. – 2010. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uchebnoe-inzhenernoe-proektirovanie-v-sovremennykh-usloviyah-obucheniya-v-tehnicheskoy-vuzе/viewer> (accessed: 18.01.2021).
5. Kozhevnikov A.V. Modernizatsiya obrazovatel'nogo protsessа v ramkakh primeneniya mul'tifunktsional'nogo podkhoda pri razrabotke i realizatsii inzhenernykh obrazovatel'nykh programm na osnove standartov CDIO // Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii. – May 2014. – № 5. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/05/33974> (accessed: 18.01.2021).
6. Projects [Federal'naya informatsionnaya ploshchadka. Elitnoe tekhnicheskoe obrazovanie]: – URL: <http://eto.tpu.ru/ru-RU/Projects> (accessed: 18.01.2021).

7. Rostekh vypustil uchebnogo robota dlya vuzov i vylozhl iskhodniki na Github [CNews.ru] – URL: https://www.cnews.ru/news/top/2020-06-02_rosteh_vyvodit_na_rynok_uchebnogo (accessed: 18.01.2021).
8. Shagovyy elektrodvigatel' [Wikipedia free encyclopedia] – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Шаговый_электродвигатель (accessed: 18.01.2021).
9. Arduino Home [Official site] – URL: <https://www.arduino.cc/> (accessed: 18.01.2021).
10. Apparatnaya platforma Arduino [Arduino.RU] – URL: <http://arduino.ru/> (accessed: 18.01.2021).
11. Tsilindricheskaya sistema koordinat [Wikipedia free encyclopedia]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Tsilindricheskaya_sistema_koordinat (accessed: 18.01.2021).
12. Serebrenitskiy, P.P. Programirovanie dlya avtomatizirovannogo oborudovaniya: uchebnik /P.P.Serebrenitskiy, A.G.Skhirtladze.–Moskva: Vyssh. shk. 2003. –592 p.
13. Erokhin V.V. Vybor metodov realizatsii geometricheskoy zadachi upravleniya ustroystvami ChPU v tekhnologicheskoy oborudovaniy // Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2017. – № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-metodov-realizatsii-geometricheskoy-zadachi-upravleniya-ustroystvami-chpu-v-tehnologicheskoy-oborudovaniy> (accessed: 18.01.2021).
14. Popov A. P., Stepanov V. I. Fizicheskie osnovy elektroniki: Uchebnoe posobie.– Omsk: Izd-vo SibADI, 2004. – 167 p
15. 42BYGHW609 Datasheet (PDF) - List of Unclassified Manufacturers: Electronic Components Datasheet Search. – URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1131889/ETC2/42BYGHW609.html> (accessed: 18.01.2021).
16. G-code [Wikipedia free encyclopedia] – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/G-code> (accessed: 18.01.2021).
17. Zhuravlev M.P. Issledovanie i ispytanie tekhnologicheskikh sistem : ucheb. posobie / M.P. Zhuravlev. - Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2017. - 84 p.

Поступило в редакцию 02.02.2021

Received 02 February 2021