УДК 004.42

DOI: 10.35887/2305-2538-2021-2-95-104

**РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ УСТАНОВОК
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ
ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

¹Томилов Александр Анатольевич²Родионов Юрий Викторович¹Ломовских Александр Егорович¹Германович Александр Семенович¹Пурусов Юрий Михайлович¹Черноиванов Виктор Иванович¹ФГКВООУ ВО «ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»²ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. Рассматриваются и рекомендуются разработанные компьютерные лабораторные установки (КЛУ) с целью эффективного проведения основных видов учебных занятий при подготовке специалистов по эксплуатации автомобильной техники. Анализ изучения специальных дисциплин: «Автомобильная подготовка», «Конструкция транспортных средств специального назначения» и «Термодинамика и теплопередача» показал, что наиболее сложным учебным материалом являются темы по электрооборудованию автомобилей и термодинамическим процессам, и теплообмену. Проведен анализ существующих сред программирования. Выявлено, что наиболее перспективным является C++ Builder, в среде которого были разработаны КЛУ для исследования политропных термодинамических процессов. При разработке КЛУ для исследования характеристик аккумуляторных батарей для описания процессов, происходящих во время работы аккумулятора, используются показатели: электродвижущая сила, напряжение, внутреннее сопротивление аккумулятора, емкость аккумулятора, плотность электролита. Показан пользовательский интерфейс программы «Аккумулятор». Показатели температуры, давления, массы, объема использованы при разработке КЛУ для исследования политропных термодинамических процессов. Исследование процесса политропного сжатия возможно в графическом выражении. Предлагаемые компьютерные лабораторные установки позволят значительно снизить финансовые и трудовые затраты, расходы на обслуживание и эксплуатацию, сократить время на проведение расчетов и оформление отчетов по выполненным работам.

Ключевые слова: компьютерная лабораторная установка, исследование, расчет, аккумуляторная батарея, разрядная характеристика, зарядная характеристика, политропный процесс, расширение и сжатие.

**DEVELOPMENT OF COMPUTER LABORATORY FACILITIES
TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF TRAINING SPECIALISTS
IN THE OPERATION OF AUTOMOTIVE EQUIPMENT**

¹Tomilov Alexander²Rodionov Yuri¹Lomovskikh Alexandr¹Germanovich Alexander¹Purusov Yuri¹Chernoivanov Viktor¹MERC "Air Force Academy Professor N.E. Zhukovsky and Major Y.A. Gagarin"²FSBEI HE "Tambov state technical university"

Abstract. The developed computer laboratory installations (CLU) are considered and recommended for the purpose of effectively conducting the main types of training sessions in the training of specialists in the operation of automotive equipment. The analysis of the study of special disciplines: "Automotive

training”, “Construction of special purpose vehicles” and “Thermodynamics and heat transfer” showed that the most difficult educational material is the topics on electrical equipment of cars and thermodynamic processes, and heat exchange. The analysis of existing programming environments is carried out. It was revealed that the most promising is C++ Builder, in the environment of which CLUs were developed for studying polytropic thermodynamic processes. Indicators: electromotive force, voltage, internal resistance of the battery, battery capacity, electrolyte density are used in the development of KLU to study the characteristics of storage batteries to describe the processes occurring during the operation of the battery. The user interface of the Battery program is shown. Indicators of temperature, pressure, mass, volume were used in the development of the CLU for the study of polytropic thermodynamic processes. The study of the process of polytropic compression is possible in graphic terms. The proposed computer laboratory installations will significantly reduce financial and labor costs, maintenance and operation costs, reduce the time for calculations and execution of reports on the work performed.

Keywords: computer laboratory installation, research, calculation, battery storage, discharge characteristic, charging characteristic, polytropic process, expansion and compression.

Введение. Поддержание в постоянной готовности к применению военной и специальной техники (ВСТ) в современной армии требует необходимой подготовки военных специалистов по изучению устройства и грамотной эксплуатации ВСТ, формирования профессионально подготовленной личности, способной действовать в различных экстремальных ситуациях и решать любые задачи [10].

Одним из эффективных методов совершенствования процесса подготовки специалистов предлагается внедрение обучающих компьютерных программ для изучения таких дисциплин как: «Автомобильная подготовка», «Конструкция транспортных средств специального назначения», «Термодинамика и теплопередача».

Для оценки эффективности системы подготовки проанализированы учебные программы и тематические планы изучаемых дисциплин [6, 7]. Наиболее сложными для усвоения являются раздел №1 «Электрооборудование транспортных средств специального назначения» по дисциплине «Конструкция транспортных средств специального назначения» и тема №3 «Электрооборудование автомобиля» по дисциплине «Автомобильная подготовка», а по дисциплине «Термодинамика и теплопередача» – понимания термодинамических процессов и процессов теплообмена, происходящих в двигателях внутреннего сгорания.

Авторами статьи для разработки компьютерной лабораторной установки выбран одним из основных элементов электрооборудования – аккумуляторная батарея (АБ). Конструкция и принцип работы АБ изучаются также в часы самостоятельной работы. По результатам анализа проведения занятий выявлена недостаточная эффективность проведения лабораторной работы «Исследование характеристик аккумуляторных батарей» и освоения учебного материала на самостоятельной работе. Так, при проведении лабораторной работы приобретаются навыки экспериментального исследования электрических характеристик АБ, для чего имеется только один стенд для снятия характеристик аккумуляторной батареи.

При проведении лабораторной работы по дисциплине «Термодинамика и теплопередача» [9] приобретаются навыки исследования политропных процессов. Для проведения работы используется одна лабораторная установка по численному и экспериментальному исследованию политропных процессов.

Целью работы является разработка и внедрение в учебный процесс компьютерных лабораторных установок по исследованию электрических характеристик АБ и исследованию политропных термодинамических процессов для повышения эффективности подготовки специалистов, изучающих автомобильную технику.

Материалы и методы. Для разработки компьютерных лабораторных установок необходимо выбрать программный продукт. Анализ существующих сред программирования показал, что в настоящее время в основном применяются три программных продукта: Delphi; Borland C++; C++ Builder [2, 5].

Наиболее перспективным является C++ Builder в среде которого были разработаны компьютерные лабораторные установки для исследования политропных термодинамических процессов и т.д.

1. Разработка компьютерной лабораторной установки для исследования характеристик аккумуляторных батарей

Для описания процессов, происходящих во время работы аккумулятора, используются показатели: электродвижущая сила (ЭДС), напряжение, внутреннее сопротивление аккумулятора, емкость аккумулятора, плотность электролита.

Электродвижущая сила (ЭДС) аккумулятора представляет собой разность электродных потенциалов, измеренную при разомкнутой внешней цепи [11]. Зависимость ЭДС от плотности электролита (γ) в диапазоне 1,05–1,30 г/см³ выражается формулой:

$$E = 0,84 + \gamma \quad (1)$$

В процессе работы аккумулятора γ меняется, а, следовательно, меняется и ЭДС. Причем вода при разряде и кислота при заряде выделяются не равномерно по всему объему электролита, а только на поверхности активного вещества. Поэтому у работающего аккумулятора плотность электролита оказывается разной в различных точках его объема. При заряде электролит имеет максимальную плотность на поверхности активного вещества, по мере удаления от поверхности пластин плотность уменьшается. При разряде на поверхности пластин плотность электролита минимальна. Данное явление называется поляризацией.

Из формулы (1) следует, что неоднородность плотности электролита влияет на величину ЭДС. Поэтому вводятся понятия о равновесной ЭДС, ЭДС аккумулятора и ЭДС поляризации.

Равновесная ЭДС E_0 измеряется после длительного пребывания аккумулятора в нерабочем состоянии. В этом случае благодаря диффузии плотность оказывается одинаковой для всех точек объема электролита.

ЭДС аккумулятора E_a имеет место на работающем аккумуляторе. E_a в процессе разряда оказывается меньше E_0 , так как в этом случае плотность γ на поверхности электродов минимальна, и она растет по мере удаления от электродов. E_a при заряде оказывается больше E_0 , так как при этом плотность электролита на поверхности электродов максимальна в сравнении с плотностью в других точках аккумулятора.

ЭДС поляризации E_n представляет собой разность между равновесной ЭДС и ЭДС аккумулятора. ЭДС поляризации растет с ростом неоднородности плотности электролита.

При выборе конечного напряжения разряда аккумулятора исходят из того, что длительный разряд при напряжениях меньших 1,75В приводит к росту очень крупных кристаллов сульфата свинца на электродах. При последующем заряде эти кристаллы полностью не растворяются, и часть активного вещества выключается из работы. Такое состояние аккумулятора рассматривается как неисправность, ее называют сульфатацией. Поэтому при определении номинальной емкости аккумулятора конечное напряжение разряда принимают равным 1,75 В.

Разрядная емкость зависит не только от состояния аккумулятора перед разрядом, но и от режима разряда. Чем больше ток разряда, тем больше E_0 при которой достигается конечное напряжение разряда. Большие значения E_0 свидетельствуют о большом количестве активного вещества, сохранившего запас электрохимической энергии, и о малом количестве электрической энергии, отданной при разряде аккумулятора.

Активное вещество, сохранившее неиспользованную энергию, располагается в глубине пластин, куда приток свежего электролита ограничен скоростью диффузии. Отложение кристаллов сульфата свинца вызывает закупорку пор в активном веществе, скорость диффузии электролита уменьшается. Интенсивность отложения кристаллов увеличивается с ростом тока разряда, а разрядная емкость аккумулятора уменьшается.

Сила тока разряда при определении номинальной емкости составляет:

$$I_p = 0,05 \cdot C_{20} \quad (2)$$

В процессе эксплуатации фактическая емкость уменьшается в сравнении с номинальной емкостью, указанной в маркировке батарей. Это происходит в результате сульфатации и осыпания активного вещества с электродов.

Контрольно-тренировочный цикл (КТЦ) производится для контроля за техническим состоянием аккумуляторных батарей, проверки их фактической емкости, исправления отстающих аккумуляторов.

При КТЦ производятся заряд батареи, предварительный (тренировочный) разряд в 10-часовом режиме, окончательный полный заряд.

В 10-часовом разрядном режиме ток выбирается по формуле:

$$I_p = 0,1 \cdot C_{20}. \quad (3)$$

Разряд ведется до напряжения 1,7 В, при температуре электролита 30 °С. Уменьшение разрядной ёмкости аккумулятора учитывается поправочным коэффициентом 1,13...1,14.

Работу аккумуляторов в режимах разряда и заряда удобно рассматривать с помощью разрядной и зарядной характеристик.

Разрядной характеристикой называют зависимость ЭДС покоя, ЭДС аккумулятора, напряжения, плотности электролита от времени разряда при постоянной силе разрядного тока.

Зарядной характеристикой аккумулятора называют зависимость плотности электролита, равновесной ЭДС, ЭДС аккумулятора и его напряжения от времени заряда при постоянной силе зарядного тока.

Рабочий экран компьютерной лабораторной установки (КЛУ) в исходном режиме показан на рисунке 1 [4].

Пользовательский интерфейс программы представлен на рисунке 1.

Рисунок 1 – Пользовательский интерфейс программы «Аккумулятор»

Порядок работы с программой «Аккумулятор».

Выполнение лабораторной работы №1 «Исследование характеристик аккумуляторных батарей» преследует следующие цели [4]:

- изучить оборудование и приборы, используемые при исследовании характеристик аккумуляторных батарей;
- ознакомиться с общей методикой построения и приобрести практические навыки в получении разрядной и зарядной электрических характеристик свинцово-кислотной аккумуляторной батареи;
- выявить причины, вызывающие изменение параметров разрядной и зарядной характеристик;
- определить фактическую емкость аккумуляторной батареи.

Материальное обеспечение: Один стенд для снятия характеристик аккумуляторной батареи, включающий автомобильную свинцово-кислотную стартерную аккумуляторную батарею, зарядно-разрядное устройство ЗУ–1Б (ЗР), вольтметр, амперметр, реостат и таймер. Кроме того, используются ареометр «Вымпел» АР–02 и нагрузочная вилка ОРИОН НВ–03. До 10 рабочих мест, оборудованных компьютерной лабораторной установкой для исследования характеристик аккумуляторных батарей (в зависимости от численного состава учебной группы, из расчета 1 рабочее место – на 2–3 обучаемых).

Экспериментальная часть работы выполняется в специализированной лаборатории электрооборудования и начинается с инструктажа по требованиям безопасности.

Далее преподаватели и техники лаборатории обучают курсантов приемам работы с аккумулятором, денсиметром и нагрузочной вилкой. Все действия на этом этапе выполняются с

использованием реального оборудования, что обеспечивает необходимую практическую подготовку курсантов.

По окончании опытов в таблицах оказываются заполненными все строки, кроме строки E_0 , содержащей данные об ЭДС покоя аккумуляторной батареи. Этот параметр невозможно определить экспериментально в процессе снятия характеристик, поскольку он измеряется после длительного пребывания аккумулятора в нерабочем состоянии, а характеристики аккумулятора следует снимать в условиях непрерывного разряда (заряда). Таким образом E_0 можно экспериментально замерить только на начальной и конечной точках характеристики. Поэтому параметр E_0 определяется расчетным путем по формуле (1).

Следующим этапом обработки экспериментальных результатов является построение графиков разрядной и зарядной характеристик. Графики характеристик строятся по данным ранее заполненных таблиц. Программным обеспечением предусмотрено автоматическое построение графиков.

В отчете должно содержаться определение фактической емкости аккумулятора C . Она вычисляется по формуле:

$$C = t_p \cdot I_p \cdot (1,13 \dots 1,14), \quad (4)$$

где C – фактическая емкость аккумулятора, Ач; t_p – время разряда, ч, оно определяется на графике разрядной характеристики как абсцисса точки, в которой напряжение U достигает величины 10,2 В (для 10-часового разрядного режима); 1,13 – 1,14 – коэффициент корректировки на 10-часовой разрядный режим.

Выводы по работе должны содержать: анализ причин, вызывающих изменение параметров разрядной и зарядной характеристик; результат вычисления фактической емкости аккумулятора и вывод о возможности его дальнейшей эксплуатации.

2. Разработка компьютерной лабораторной установки для исследования политропных процессов.

Пользовательский интерфейс программы «Политропа».

Внешний вид компьютерной лабораторной установки для исследования политропных процессов представлен на рисунке 2.

Рисунок 2 – Вид компьютерной лабораторной установки для исследования политропных процессов

Управление изображением осуществляется выполнением следующих манипуляций [8].

Смена точки обзора с помощью мыши:

- смещение вверх-вниз – перемещение мыши, нажато колесо;
- смещение ближе-дальше – вращение колеса;
- вращение вокруг оси X – вращение колеса, нажать Shift;

- вращение вокруг оси Y – перемещение мыши, нажаты колесо и Ctrl;
- вращение вокруг оси Z – перемещение мыши, нажаты колесо и Shift.

Изменение освещенности:

- доступ к опции обеспечивает двойной клик по левому краю экрана.

На появившейся панели имеются движки управления:

- первый сверху движок меняет рассеянный свет;
- второй – диффузный свет;
- третий – отраженный свет.

Управление установкой осуществляется с помощью манипулятора (мыши).

Порядок работы с программой «Политропа».

Порядок проведения эксперимента [8].

1. Подготовить установку к работе: включить интерактивный компьютерный тренажер, ознакомиться с расположением измерительных приборов.

2. Навести курсор на изображения клавиши «Запись в протокол» и нажать левую клавишу мыши (предварительно зафиксировав значения термометра и манометра).

3. Периодически перемещая поршень, снимать показания приборов и заносить данные в протокол. Термометр дает показания в градусах Цельсия, манометр показывает абсолютное давление.

4. Пункт 3 необходимо повторить 5 – 6 раз.

Обработка результатов исследований осуществляется автоматически.

1. По замеренным значениям температуры определяется термодинамическая температура рабочего тела по формуле [9]:

$$T = t + 273.15, \quad (5)$$

где T – термодинамическая температура рабочего тела, °K; t – температура рабочего тела °C.

2. Определяется удельный объем.

3. Просмотр результатов исследования политропного процесса сжатия в табличной форме, доступен через пункты «Протокол» и далее «Показать таблицу» главного меню (рисунок 3).

Рисунок 3 – Результаты экспериментальных исследований процесса сжатия

4. Просмотр графического выражения результатов исследования процесса сжатия доступен через пункты «Протокол» и далее «Показать график» главного меню (рисунок 4).

Рисунок 4 – Графическое выражение результатов исследования процесса сжатия

5. Просмотр результатов исследования политропного процесса расширения в табличной форме доступен через пункты «Протокол» и далее «Показать таблицу» главного меню (рисунок 5).

Номер ранжир	1	2	3	4	5	6	7
Температура рабочего тела, Т, К	327.5627	270.056	257.5531	253.1351	255.334	260.7365	255.3075
Давление рабочего тела, МПа	0.395	0.2293	0.1901	0.1453	0.1225	0.1062	0.093
Объем, л	1.1399	1.5778	1.9762	2.3343	2.7322	3.2893	3.8474
Масса, кг	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047	0.0047
Идеальный объем, кг/м³	0.2442	0.336	0.4105	0.5001	0.5932	0.7048	0.8243
Показатель политроты	ncp=1.1579	1.5536	1.2429	1.0879	0.9529	0.8705	0.8479

Рисунок 5 – Результаты экспериментальных исследований процесса расширения

6. Просмотр графических результатов исследования процесса расширения доступен через пункты «Протокол» и далее «Показать график» главного меню (рисунок 6).

Рисунок 6 – Графическое выражение результатов исследования процесса расширения

7. Сделать выводы, содержащие анализ полученной экспериментальной зависимости, сопоставить ее с теоретическим уравнением политропного процесса.

8. Оформить отчет по лабораторной работе.

Заключение. По итогам проведения аналитической и практической работы по разработке компьютерных тренажерных установок были достигнуты следующие результаты:

- на основании анализа рабочей программы дисциплины «Конструкция транспортных средств специального назначения» выявлены недостатки в организации проведения лабораторных работ и самостоятельной работы;

- разработана и внедрена в учебный процесс компьютерная лабораторная установка под названием «Аккумулятор»;

- на основании анализа рабочей программы дисциплины «Термодинамика и теплопередача», выявлены недостатки в организации проведения лабораторных работ и самостоятельной работы;

- разработана и внедрена в учебный процесс компьютерная лабораторная установка для исследования политропных процессов под названием «Политропа».

Внедрение разработанных установок в учебный процесс позволили улучшить качество обучения в 2019 / 20 учебном году на 5 – 10 % по сравнению с аналогичным периодом 2018 / 19 учебного года.

Направлением дальнейших исследований является разработка и государственная регистрация компьютерных лабораторных установок для исследования изохорного и изобарного термодинамических процессов.

Список литературы

1. Акимов С.В., Чижков Ю.П. Электрооборудование автомобилей: учеб. для вузов. – М.: За рулём, 2005. – 384 с.
2. Громов Ю.Ю., Татаренко С.И. Программирование на языке СИ: учеб. пособие. – Тамбов, 1995. – 169 с.
3. Квалификационные требования к военно-профессиональной подготовке выпускников (дополнение к федеральному государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования) по военной специальности Применение подразделений и эксплуатация средств аэродромно-технического обеспечения полётов авиации. – М., 2011. – 53 с.

4. Конструкция транспортных средств специального назначения. Электрооборудование транспортных средств специального назначения: Лабораторный и компьютерный практикум / Ю.М. Пурусов, К.Н. Леонтьев, Д.В. Лиховидов [и др.]. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2018. – 72 с.
5. Культин Н.С. Основы программирования в Delphi 8 для Microsoft.NET Framework: самоучитель. – СПб: БХВ Петербург, 2004. – 312 с.
6. Приказ Министра обороны Российской Федерации № 670 «О мерах по реализации отдельных положений статьи 81 Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации». – М.: 2014. – 83 с.
7. Рабочая программа учебной дисциплины «Конструкция транспортных средств специального назначения». – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015. – 32 с.
8. Термодинамика и теплопередача. Термодинамические и теплообменные процессы: практикум / А.А. Томилов, А.Т. Заварзин, Ю.М. Пурусов [и др.]. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2017. – 43 с.
9. Томилов А.А., Заварзин А.Т. Термодинамика и теплопередача: учеб. для вузов. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015. – 232 с.
10. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки (специальности) 190110 Транспортные средства специального назначения. – М.: 2009. – 51 с.
11. Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей: учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Горная линия Телеком, 2009. – 440 с.

References

1. Akimov S.V., Chizhkov Ju.P. Jelektrooborudovanie avtomobilej: ucheb. dlja vuzov. – M.: Zarljom, 2005. – 384 s.
2. Gromov Ju.Ju., Tatarenko S.I. Programirovanie na jazyke SI: ucheb. posobie. – Tambov, 1995. – 169 s.
3. Kvalifikacionnye trebovanija k voenno-professional'noj podgotovke vypusnikov (dopolnenie k federal'nomu gosudarstvennomu obrazovatel'nomu standartu vysshego professional'nogo obrazovanija) po voennoj special'nosti Primenenie podrazdelenij i jekspluacija sredstv ajerodromno-tehnicheskogo obespechenija poljotov aviacii. – M., 2011. – 53 s.
4. Konstrukcija transportnyh sredstv special'nogo naznachenija. Jelektrooborudovanie transportnyh sredstv special'nogo naznachenija: Laboratornyj i komp'juternyj praktikum / Ju.M. Purusov, K.N. Leont'ev, D.V. Lihovidov [i dr.]. – Voronezh: VUNC VVS «VVA», 2018. – 72 s.
5. Kul'tin N.S. Osnovy programmirovanija v Delphi 8 dlja Microsoft.NET Framework: samouchitel'. – SPb: BHV Peterburg, 2004. – 312 s.
6. Prikaz Ministra oborony Rossijskoj Federacii № 670 «O merah po realizacii otdel'nyh polozhenij stat'i 81 Federal'nogo zakona ot 29 dekabnja 2012 g. № 273-FZ «Ob obrazovanii v Rossijskoj Federacii. – M.: 2014. – 83 s.
7. Rabochaja programma uchebnoj discipliny «Konstrukcija transportnyh sredstv special'nogo naznachenija». – Voronezh: VUNC VVS «VVA», 2015. – 32 s.
8. Termodinamika i teploperedacha. Termodinamicheskie i teploobmennye processy: praktikum / A.A. Tomilov, A.T. Zavarzin, Ju.M. Purusov [i dr.]. – Voronezh: VUNC VVS «VVA», 2017. – 43 s.
9. Tomilov A.A., Zavarzin A.T. Termodinamika i teploperedacha: ucheb. dlja vuzov. – Voronezh: VUNC VVS «VVA», 2015. – 232 s.
10. Federal'nyj gosudarstvennyj obrazovatel'nyj standart vysshego professional'nogo obrazovanija po napravleniju podgotovki (special'nosti) 190110 Transportnye sredstva special'nogo naznachenija. – M.: 2009. – 51 s.
11. Jutt V.E. Jelektrooborudovanie avtomobilej: ucheb. dlja vuzov. – 4-e izd., pererab. i dop. – M.: Gorjachaja linija Telekom, 2009. – 440 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Томилов Александр Анатольевич – кандидат военных наук, профессор Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: tomilov-vrn@yandex.ru.

Родионов Юрий Викторович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, rodionow.u.w@rambler.ru.

Ломовских Александр Егорович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: lomovskih1979@yandex.ru.

Германович Александр Семенович – доцент, преподаватель Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Пурусов Юрий Михайлович – кандидат технических наук, профессор Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Черноиванов Виктор Иванович – доцент, преподаватель Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Author credentials

Affiliations

Tomilov Alexander – Candidate of military Sciences, Professor of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: tomilov-vrn@yandex.ru.

Rodionov Yuri – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru.

Lomovskih Alexander – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: lomovskih1979@yandex.ru.

Germanovich Alexander – Associate Professor, lecturer of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh.

Purusov Yuri – Candidate of Technical Sciences, Professor of of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh.

Chernoivanov Viktor – Associate Professor, lecturer of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh.

Поступила в редакцию (Received): 10.03.2021 Принята к публикации (Accepted): 15.04.2021