

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

В. С. Солдаткин

**ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ (ГПОЗ),
СИСТЕМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ (ГПО-3),
УЧЕБНО-ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ (УПД-3)**

Методические указания по лабораторной, практической и самостоятельной
работе для студентов технических направлений подготовки и
специальностей

Томск
2022

УДК 001.8
ББК 30.1
С 600

Солдаткин, Василий Сергеевич

С 600 Проектная деятельность (ГПОЗ), системное проектирование электронных средств (ГПО-З), учебно-проектная деятельность (УПД-З): методические указания по лабораторной, практической и самостоятельной работе для студентов технических направлений подготовки и специальностей / В.С. Солдаткин. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2022 – 18 с.

Настоящие методические указания по практической и самостоятельной работе для студентов технических направлений подготовки и специальностей составлено с учетом требований федеральных государственных образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО).

Методические указания предназначены для студентов, изучающих дисциплины Проектная деятельность (ГПОЗ), системное проектирование электронных средств (ГПО-З), учебно-проектная деятельность (УПД-З) и содержат необходимую информацию, используемую для организации лабораторной, практической и самостоятельной работы для студентов технических направлений подготовки и специальностей.

Одобрено на заседании каф. РЭТЭМ протокол № 78 от 16.02.2022.

УДК001.8
ББК 30.1

© Солдаткин В.С., 2022
© Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	5
2. ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	11
3. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	13
3.1 Первичная статистическая обработка результатов экспериментальных исследований	13
3.1.1 Аппроксимация.....	13
3.1.2 Интерполяция	13
3.1.3 Экстраполяция	13
3.1.4 Метод наименьших квадратов	13
3.2 Вторичная статистическая обработка результатов экспериментальных исследований	13
3.2.1 Регрессионный анализ	13
3.2.2 Корреляционный анализ	14
3.2.3 Факторный анализ	14
5. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ.....	15
6. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ	16
7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА	17
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	18

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие учебно-методическое пособие для проведения лабораторных, практических занятий и организации самостоятельной работы составлено с учетом требований федеральных государственных образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлениям подготовки: 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств, 20.03.01 Техносферная безопасность, 05.03.06 Экология и природопользование и уровню подготовки «Бакалавриат». Учебно-методическое пособие предназначено для студентов, изучающих дисциплины Проектная деятельность (ГПО3), системное проектирование электронных средств (ГПО-3), учебно-проектная деятельность (УПД-3) и содержат необходимую информацию, используемую для лабораторных, практических занятий и организации самостоятельной работы.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В соответствии с Федеральным Законом «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 г. № 102-ФЗ (с изменениями на 13 июля 2015 года):

Единство измерений – состояние измерений, при котором их результаты выражены в допущенных к применению в Российской Федерации единицах величин, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы.

Средство измерений – техническое средство, предназначенное для измерений.

Стандартный образец – образец вещества (материала) с установленными по результатам испытаний значениями одной и более величин, характеризующих состав или свойство этого вещества (материала).

Эталон единицы величины – техническое средство, предназначенное для воспроизведения, хранения и передачи единицы величины.

В соответствии с РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения:

Величина – свойство материального объекта или явления, общее в качественном отношении для многих объектов или явлений, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Измерение – процесс экспериментального получения одного или более значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны величине.

Значение величины – выражение размера величины в виде некоторого числа принятых единиц, или чисел, баллов по соответствующей шкале измерений.

Метрологическая прослеживаемость – это свойство результата измерений, в соответствии с которым результат может быть соотнесен с основой для сравнения через документированную непрерывную цепь калибровок (до международной системы СИ), каждая из которых, вносит вклад в неопределенность измерений.

Метрологическая совместимость – Свойство множества результатов измерений для определенной измеряемой величины, при котором абсолютное значение разности любой пары измеренных значений величины, полученное из двух различных результатов измерений, меньше, чем некоторое выбранное кратное стандартной неопределенности измерений этой разности.

В соответствии с ГОСТ 16504-81 Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения (с Изменением N 1):

Шкала измерений – отображение множества различных проявлений количественного или качественного свойства на принятое по соглашению упорядоченное множество чисел или другую систему логически связанных знаков (обозначений).

Средство контроля – техническое устройство, вещество и (или) материал для проведения контроля

Испытательное оборудование – средство испытаний, представляющее собой техническое устройство для воспроизведения условий испытаний.

В соответствии с ГОСТ Р 8.820-2013 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Метрологическое обеспечение. Основные положения:

Полнота измерительной информации – свойство измерительной информации, определяющее её достаточность для понимания состояния наблюдаемого объекта или явления и принятия необходимого управляющего решения.

Достоверность измерительной информации – свойство измерительной информации - быть правильно воспринятой и однозначно интерпретированной для принятия управляющих решений.

Своевременность измерительной информации – свойство измерительной информации, которое состоит в том, что она поступает в момент, обеспечивающий время, необходимое для принятия и реализации управляющего решения.

Актуальность измерительной информации – свойство измерительной информации, определяющее её важность, значительность в момент принятия управляющего решения.

В соответствии с ГОСТ Р 8.568-97 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Аттестация испытательного оборудования. Основные положения (с Изменением N 1):

Аттестация испытательного оборудования – определение нормированных точностных характеристик испытательного оборудования, их соответствия требованиям нормативных документов и установление пригодности этого оборудования к эксплуатации.

В соответствии с ГОСТ Р 53697-2009. Контроль неразрушающий. Основные термины и определения:

Приемлемый уровень качества – максимальный процент брака или максимальное количество бракованных единиц продукции на сотню единиц продукции, которое при выборочном контроле может считаться удовлетворительным в данном технологическом процессе.

Критерий допуска – критерий, на основании которого устанавливается пригодность образца продукции.

Границы допуска – набор заданных параметров, устанавливающих границы годности или браковки.

Настройка прибора; юстировка прибора – Приведение прибора в состояние, необходимое для выполнения неразрушающего контроля, его наладка, регулировка, в частности путем сравнения его показаний со значением параметра, воспроизводимого контрольным образцом.

Несплошность – нарушение сплошности или когезии, выраженное в виде естественных или искусственных разрывов физической структуры материала.

Чувствительность – способность метода неразрушающего контроля к обнаружению несплошностей.

Порог чувствительности – наименьшая регистрируемая несплошность.

Дефект – дефектность или несплошность, которая может быть обнаружена методами неразрушающего контроля и которая необязательно является недопустимой.

Показание – представление сигнала от несплошности, применяемое в данном методе неразрушающего контроля.

Неразрушающий контроль – область науки и техники, охватывающая исследования физических принципов, разработку, совершенствование и применение методов, средств и технологий технического контроля объектов, не разрушающего и не ухудшающего их пригодность к эксплуатации.

Контрольный образец – образец из материала определенного состава с заданными геометрической формой и размерами, используемый для настройки и оценки параметров аппаратуры и дефектоскопических материалов, а также в качестве индикаторов их работоспособности.

Разрешающая способность – способность достоверно, уверенно различать близко расположенные несплошности.

Анализ результатов контроля – систематическое изучение данных при проведении неразрушающего контроля за какой-то период времени для установления наличия или отсутствия дефектов, прогнозирования появления дефектов, определения необходимости корректировки технологии изготовления или эксплуатации проверяемых технических объектов, оптимизации контролируемых параметров или изменения стратегии неразрушающего контроля в целях эффективного воздействия на качество продукции на всех стадиях ее жизненного цикла.

Макет – упрощенное воспроизведение в определенном масштабе изделия или его части, на котором исследуются отдельные характеристики изделия, а также оценивается правильность принятых технических и художественных решений.

Модель – изделие, воспроизводящее или имитирующее конкретные свойства заданного изделия и изготовленное для проверки принципа его действия и определения характеристик.

Экспериментальный образец – образец продукции, обладающий основными признаками намечаемой к разработке продукции, изготавливаемый с целью проверки предполагаемых решений и уточнения отдельных характеристик для использования при разработке этой продукции.

Примечание – экспериментальный образец всегда выполняется в натуральную величину и представляет собой законченное в функциональном отношении изделие, пригодное для исследовательских испытаний.

Испытания – определение одной или нескольких характеристик продукции в соответствии с установленной процедурой.

Программа испытаний – документ, предназначенный для организации и выполнения работ, обеспечивающих проведение испытаний конкретного объекта.

Методика испытаний – документ или его часть, устанавливающие правила реализации методов испытаний.

1. ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Программа и методики экспериментальных исследований (ПМ) – документ, содержащий технические данные, подлежащие проверке при испытании изделий, а также порядок и методы их контроля.

ПМ выполняют на формах 9 и 9а, необходимые схемы, таблицы и чертежи в бумажной форме допускается выполнять на форматах А3 по ГОСТ 2.301, при этом основную надпись и дополнительные графы к ней выполняют в соответствии с ГОСТ 2.104.

Содержание ПМ обеспечивает объективную оценку качества экспериментальных исследований.

ПМ в общем случае должна состоять из следующих разделов:

- общие положения;
- общие требования к условиям, обеспечению и проведению экспериментальных исследований;
- требования безопасности;
- определяемые показатели (характеристики) и точность их измерения;
- режимы проведения экспериментальных исследований;
- методы проведения экспериментальных исследований;
- отчетность.

Примечание – В зависимости от особенностей экспериментальных исследований допускается объединять или исключать отдельные разделы, а также включать в нее дополнительные разделы.

В разделе «Общие положения» помещают:

- наименование и обозначение объекта экспериментальных исследований;
- цель экспериментальных исследований;
- вид (виды) экспериментальных исследований и (или) испытаний, которым подвергается изделие;
- условия предъявления объекта экспериментальных исследований на испытания экспериментальные исследования (порядок отбора, количество, комплектность, документальное сопровождение при предъявлении);
- порядок взаимодействия с другими предприятиями, участвующими в экспериментальных исследованиях.

В разделе «Общие требования к условиям, обеспечению и проведению экспериментальных исследований»:

- к месту проведения экспериментальных исследований (цех, лаборатория, полигон и т.п.);
- к средствам проведения экспериментальных исследований (приспособлениям, стандам, измерительной и вычислительной технике и т.п.);
- к условиям проведения экспериментальных исследований (состояние окружающей, искусственно создаваемой или моделируемой среды и т.п.);
- к основным и дублирующим видам топлива, масел, охлаждающей жидкости, газов и т.п.;
- к подготовке объекта экспериментальных исследований к экспериментальным исследованиям;
- к порядку работы на изделии по завершении экспериментальных исследований;
- к персоналу, осуществляющему подготовку экспериментальным исследованиям и (или) испытаниям.

В разделе «Требования безопасности» помещают:

- требования безопасности при подготовке изделия к испытаниям экспериментальным исследованиям;
- требования безопасности при проведении экспериментальных исследований;
- требования безопасности при выполнении работ по завершению экспериментальных исследований.

В разделе «Определяемые показатели (характеристики) и точность их измерений» помещают:

- перечень определяемых показателей (характеристик) с указанием наименования, обозначения (при наличии), единицы измерения;
- номинальные значения показателей (характеристик) и предельные отклонения от номинальной величины или пределы измерения;
- указания, на каких видах и на каких этапах видов испытаний определяются показатели (характеристики);
- перечень оборудования, материалов и реактивов (стенды, приборы, приспособления, оснастка, инструмент и др.) для определения каждого показателя;
- класс точности измерительного оборудования;
- допускаяемую погрешность измерения (расчета) определяемых показателей;
- указания, по какой методике, инструкции или нормативному документу следует определять (измерять) показатель (характеристику);
- правила регулировки (настройки) в процессе подготовки изделия к экспериментальным исследованиям и (или) испытаниям и (или) при экспериментальных исследованиях и (или) испытаниях;
- формулы расчета для определения показателей (характеристик), которые не могут быть определены прямым или косвенным измерением.

В разделе «Режимы испытаний изделия» помещают:

- режимы экспериментальных исследований и (или) испытаний;
- ограничения и другие указания, которые необходимо выполнять на всех или на отдельных режимах экспериментальных исследований и (или) испытаний;
- условия аннулирования и возобновления экспериментальных исследований и (или) испытаний на всех или на отдельных режимах.

В разделе «Методы проведения экспериментальных исследований» помещают:

- схемы экспериментальных исследований и (или) испытаний;
- описание метода экспериментальных исследований;
- формулы расчета;
- номограммы, диаграммы, графики зависимости отдельных параметров изделия от состояния внешней среды, других параметров, необходимые для определения показателей (характеристик) изделия.

В разделе «Отчетность» помещают:

- перечень документов, в которых фиксируют результаты экспериментальных исследований, измерений и анализов в процессе экспериментальных исследований и по их завершению;
- правила оформления таких документов;
- правила хранения и рассылки отчетных документов.

Допускается выполнять ПМ отдельными частями, например:

ПМ – программа экспериментальных исследований, в которой излагают содержание следующих разделов ПМ:

- общие положения;
- общие требования к условиям, обеспечению и проведению экспериментальных исследований;
- отчетность.

ПМ1 – методика экспериментальных исследований, в которой излагают содержание следующих разделов ПМ:

- определяемые показатели (характеристики) и точность их измерений;
- режимы экспериментальных исследований;
- методы экспериментальных исследований.

2. ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные исследования проводятся в соответствии с Программой и методиками экспериментальных исследований утверждённой Научным руководителем проекта ГПО.

Средства измерений, указанные в ПМ должны обеспечивать требуемую точность измерений. Средства измерений, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору, должны быть поверены по ПР 50.2.006, а не подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору – калиброваны по ПР 50.2.016 или поверены. Испытательное оборудование должно быть аттестовано по ГОСТ Р 8.568.

При проведении экспериментальных исследований необходимо соблюдать требования безопасности. Требования безопасности при подготовке объекта испытаний к экспериментальным исследованиям:

- работы должны проводиться в помещении, соответствующему требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 и гигиеническим требованиям СП 22.1.1312-03;

- сборка и разборка элементов и устройств, входящих в состав оборудования для экспериментальных исследований, выполняется при отсутствии на этих элементах и устройствах электрического напряжения и остаточного заряда;

- рабочее напряжение и остаточный заряд должны быть сняты так же с других объектов или эти объекты должны быть на время подготовки и проведения работ ограждены, если не исключено прикосновение или приближение к ним;

- требования безопасности к оборудованию по ГОСТ 12.2.007.11-75, ГОСТ 12.2.007.13-2000, ГОСТ 12.2.007.14-75.

Перед проведением работ необходимо проверить:

- исправность системы заземления и зануления;
- убедиться внешним осмотром в исправности кабеля (шнура), его защитной трубки и штепсельной вилки, целости изоляционных деталей корпуса, рукоятки и крышек щеткодержателей, защитных кожухов;

- проверить комплектность и надежность крепления деталей;

- проверить четкость работы выключателя;

- выполнить (при необходимости) тестирование устройства защитного отключения (УЗО).

Требования безопасности при проведении экспериментальных исследований:

- при проведении электрических измерений и испытаний должен быть устранен непосредственный контакт работающего с узлами и элементами, оказывающими опасное и вредное воздействие;

- безопасность проведения измерительных и испытательных работ должна обеспечиваться защитой от возможных отрицательных воздействий природного характера и погодных условий;

- при проведении экспериментальных исследований присоединение измерительных приборов выполняется после снятия напряжения;

- кабели и кабельная арматура измерительных и испытательных цепей, к которым предъявляются требования по пожарной безопасности, должны удовлетворять требованию нераспространения горения;

- конструкция и характеристики оболочек, экранов и брони кабелей, проводов и других материалов, и средств, используемых в работе, должны обеспечивать электро- и пожаробезопасность эксплуатации при нормальных и аварийных режимах работы;

- каждый работник, если он сам не может принять меры к устранению нарушений

требований нормативных документов в области охраны труда, обязан немедленно сообщить непосредственному, а в случае его отсутствия - вышестоящему руководителю обо всех замеченных им нарушениях, неисправностях оборудования, применяемых при работе механизмов, приспособлений, приборов, инструментов и средств защиты, представляющих собой опасность для работников;

– при несчастных случаях с людьми снятие напряжения для освобождения пострадавшего от воздействия электрического тока должно быть произведено немедленно без предварительного разрешения.

Требования безопасности при выполнении работ по завершению испытаний:

– по окончании экспериментальных исследований производитель работ обязан: снизить напряжение испытательной (измерительной) установки до нуля; отключить установку от питающей ее сети; заземлить вывод установки и сообщить об этом бригаде словами: «Напряжение снято». Только после этого допускается пересоединять провода или в случае полного окончания испытания отсоединять их от испытательной установки и снимать ограждения.

3. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований – это математическая обработка данных, с помощью которых результаты экспериментальных исследований можно обобщать, привести в систему и выявить скрытые в них закономерности между изучаемыми в эксперименте переменными величинами.

Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований делится на первичную и вторичную.

3.1 Первичная статистическая обработка результатов экспериментальных исследований

Первичная статистическая обработка результатов экспериментальных исследований предназначена для представления результатов экспериментальных исследований с учётом генеральной совокупности, разброса результатов измерений и погрешности измерений. Для первичной статистической обработки результатов экспериментальных исследований используются такие математические методы как аппроксимация, интерполяция, экстраполяция, метод наименьших квадратов и т.д.

3.1.1 Аппроксимация

Аппроксимация – это получение некой функции, приближенно описывающей какую-то функциональную зависимость $f(x)$, заданную таблицей значений, либо заданную в виде, неудобном для вычислений. При этом эту функцию выбирают такой, чтобы она была максимально удобной для последующих расчетов.

3.1.2 Интерполяция

Интерполяция – это способ нахождения промежуточных значений величины по имеющемуся дискретному набору известных значений. Интерполяция использует значения некоторой функции, заданные в ряде точек, чтобы предсказать значения функции между ними. Интерполяция бывает: линейная, геометрическая, кубическим сплайном, многочленом Лагранжа, полиномиальная, равномерная, повторная, по шаблону.

3.1.3 Экстраполяция

Экстраполяция – это продолжение динамического ряда данных по определенным формулам.

3.1.4 Метод наименьших квадратов

Метод наименьших квадратов – это математический метод, применяемый для решения статистических задач, основанный на минимизации суммы квадратов отклонений некоторых функций от искомым переменных.

3.2 Вторичная статистическая обработка результатов экспериментальных исследований

Вторичная статистическая обработка результатов экспериментальных исследований предназначена для связи рядов данных экспериментов, связи разрозненных данных, обработки больших массивов данных для структурной классификации. Для вторичной статистической обработки результатов экспериментальных исследований используются такие математические методы как регрессионный, корреляционный и факторный анализ.

3.2.1 Регрессионный анализ

Регрессионный анализ это – статистический метод исследования влияния одной или нескольких независимых переменных на зависимую переменную. Независимые переменные иначе называют регрессорами или предикторами, а зависимые переменные — критериальными.

3.2.2 Корреляционный анализ

Корреляционный анализ – это метод обработки статистических данных, заключающийся в изучении коэффициентов корреляции между переменными. При этом сравниваются коэффициенты корреляции между одной парой или множеством пар признаков для установления между ними статистических взаимосвязей.

3.2.3 Факторный анализ

Факторный анализ – это статистический многомерный метод, применяемый для изучения взаимосвязей между значениями переменных. Предполагается, что известные переменные зависят от меньшего количества неизвестных переменных и случайной ошибки.

Классификация отбора выборок [19]:

– Репрезентативный или расслоенный отбор выборок – там, где это целесообразно, количество единиц в выборку следует отбирать пропорционально объему более мелких частей или слоев партии, определяемых на основе некоторого рационального критерия. При расслоенном отборе выборки единицы продукции от каждого слоя партии выбирают случайным образом.

– Время взятия выборок – отбор выборок производят случайным образом после того, как все единицы продукции сформированы в партию, или в течение времени ее производства.

– Двухступенчатый или многоступенчатый отбор выборок – при двух- или многоступенчатом отборе выборок каждая выборка должна извлекаться из полной партии.

5. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

В рамках ГПО (УПД) на практических занятиях студенты совместно с научным руководителем проекта разрабатывают технические требования к результатам моделирования процессов и объектов. Студенты совместно с научным руководителем проекта выбирают программное обеспечение для моделирования процессов и объектов. Студенты совместно с научным руководителем проекта обсуждают результаты моделирования процессов и объектов.

6. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

По разработанным совместно с научным руководителем проекта техническим требованиям, в рамках ГПО (УПД), на лабораторных занятиях студенты проводят моделирования процессов и объектов.

7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Студенты в рамках самостоятельной работы над проектом ГПО (УПД) проводят анализ и выбор программного обеспечения для моделирования процессов и объектов. Студенты в рамках самостоятельной работы оформляют результаты моделирования процессов и объектов в соответствии с [20].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 57412-2017 Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий. Общие положения. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200144432>.
2. Dialux - расчёт и проектирование освещения. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.dialux-help.ru/dialux-evo/o-dialux-evo.html>.
3. Lambda Research Corporation. Optical Design Software leader. All rights reserved. Created by Polyphasic Developers. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200026224>.
4. Synopsys, Inc. All Rights Reserved. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.synopsys.com/optical-solutions/lighttools/feature-details.html>.
5. «ПОИНТ» – официальный дистрибьютор Autodesk в России. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.pointcad.ru/product/autodesk-simulation-cfd/funkczional-autodesk-cfd>.
6. ЗАО «КАДФЕМ Си-Ай-Эс». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.cadfem-cis.ru/products/ansys/>.
7. Keysight Technologies. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.keysight.com/ru/pc-1297131/systemvue-electronic-system-level-esl-design-software?cc=RU&lc=rus>.
8. National Instruments. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.awrcorp.com/ru/products/microwave-office>.
9. Keysight Technologies. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.keysight.com/ru/pc-1297113/advanced-design-system-ads?cc=RU&lc=rus>.
10. СМИ Сайт-ПАЯЛЬНИК. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://cxem.net/software/p-cad.php>.
11. СМИ Сайт-ПАЯЛЬНИК. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://cxem.net/software/sprint_layout.php.
12. СМИ Сайт-ПАЯЛЬНИК. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://cxem.net/software/altium_designer.php.
13. GRAPHISOFT SE. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.graphisoft.ru/archicad/archicad/overview/>.
14. ГК "Автоматизация учета". [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.auperm.ru/upravlenie-ohranoy-truda/>.
15. ООО «БРеалИТ». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://asupb.ru/description.php#benefits>.
16. Gexcon. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.gexcon.com/FRED_Shepherd_PIPA/article/shepherd.
17. MagiCAD Вентиляция. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.magicad.com/ru/magicad-ventilation-rus/#magicad-dlya-autocad>.
18. MagiCAD Трубопроводы. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.magicad.com/ru/magicad-piping-rus/#magicad-dlya-autocad/>
19. MagiCAD Электроснабжение. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.magicad.com/ru/magicad-electrical-rus/#magicad-dlya-autocad>.
20. ГОСТ 2.052-2015 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Электронная модель изделия. Общие положения. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200138639>.