

УДК 621.382.2/.3–004.67

НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ОБРАБОТКЕ БОЛЬШИХ ОБЪЁМОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ ИСПЫТАНИИ ВЫБОРОК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ



В.О. Казюциц
Аспирант БГУИР,
магистр
технических наук



С.М. Боровиков
Доцент кафедры
проектирования
информационно-
компьютерных
систем БГУИР,
кандидат
технических наук,
доцент



Е.Н. Шнейдеров
Проректор по
учебной работе
БГУИР, кандидат
технических наук,
доцент



В.П. Жданович
Аспирант БГУИР,
магистр

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Республика Беларусь
E-mail: vladkaz@bsuir.by, bsm@bsuir.by, shneiderov@bsuir.by, zhdanovich@bsuir.by

В.О. Казюциц

Окончил БГУИР (2017 г.), в настоящее время является аспирантом этого университета, магистр технических наук. Проводит научные исследования по прогнозированию надёжности полупроводниковых приборов большой мощности.

С.М. Боровиков

Доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем БГУИР. Основная область научных интересов: прикладные математические методы в проектировании изделий радиоэлектроники, включая алгоритмы статистического прогнозирования надёжности изделий электронной техники и оценку надёжности прикладного программного обеспечения на ранних этапах его разработки. Руководитель разработки программных комплексов по автоматизированному расчёту и обеспечению надёжности электронных устройств: система АРИОН (2008-2009 гг.), система АРИОН-плюс (2011-2015 гг.).

Е.Н. Шнейдеров

Проректор по учебной работе БГУИР. Являлся исполнителем программного комплекса по автоматизированному расчёту и обеспечению надёжности электронных устройств (система АРИОН, 2008-2009 гг. Занимается исследованием методов обеспечения надёжности устройств и систем.

В.П. Жданович

Окончила БГУИР (2019 г.), в настоящее время является аспирантом этого университета, магистр. Проводит научные исследования в области прогнозирования надёжности полупроводниковых приборов с использованием методов машинного обучения.

Аннотация. На примере больших объёмов экспериментальных данных, получаемых при испытаниях выборок полупроводниковых приборов на длительную наработку, рассматривается эффективность возможных подходов к их анализу и обработке.

Ключевые слова: испытания полупроводниковых приборов, большие объёмы экспериментальных данных, анализ и обработка данных.

Материалы доклада подготовлены по результатам выполнения проекта № T20MB-026 на тему «Прогнозирование эксплуатационной надёжности мощных полупроводниковых приборов с использованием методов и алгоритмов машинного обучения», утверждённого Научным советом Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований 22 апреля 2020 года по результатам конкурса «БРФФИ–Минобразование М-2020». Проект выполняется в 2020-2022 годах кафедрой проектирования информационно-компьютерных систем в лаборатории научно-исследовательской группы 5.1 «Методы проектирования, испытания и программирования надёжности электронных систем» научно-исследовательской части (НИЧ) Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Введение.

Важным этапом научных исследований, включающих измерительные эксперименты, является анализ больших массивов полученных данных. При проведении научных исследований, связанных с надёжностью полупроводниковых приборов (ППП), применяются различные методы [1-2], позволяющие на основе анализа данных получить прогноз о надёжности, который в равной степени относится к любому экземпляру прогнозируемой выборки ППП (групповое прогнозирование), либо относится к конкретному экземпляру (индивидуальное прогнозирование). Прогнозирование надёжности ППП может выполняться по значениям информативных параметров конкретного экземпляра, полученным в начальный момент времени [1-4]. Такое прогнозирование позволяет для конкретного экземпляра указать класс, к которому прибор будет принадлежать для заданной наработки: K_1 – класс работоспособных, K_0 – класс неработоспособных экземпляров. Для определения класса экземпляра используют прогнозирующее правило. Для приборов интересующего типа его получают один раз с помощью обучающего эксперимента (предварительные исследования определённой выборки приборов). Информативные параметры контролируются (измеряются) у конкретного экземпляра в начальный момент времени (до постановки полупроводникового прибора в электронное устройство) и по их значениям принимают решение о классе экземпляра (K_1 или K_0), к которому с точки зрения надёжности экземпляр будет принадлежать для заданной наработки. Достоверность прогноза класса экземпляров с помощью полученного прогнозирующего правила во многом зависит от удачности выбора используемых информативных параметров. Определение электрических параметров ППП, используемых в качестве информативных, является важным этапом процедуры индивидуального прогнозирования работоспособности ППП для заданных наработок.

Поиск информативных параметров выполняют обычно с помощью экспериментальных исследований. Первым этапом таких исследований является измерение в начальный момент времени у каждого экземпляра определённой выборки ППП интересующего типа таких электрических параметров, которые гипотетически могут оказаться информативными. Указанную выборку называют обучающей, её объём составляет примерно 100...200 экземпляров. Окончательное решение об уровне информативности параметров принимают по результатам испытаний этой выборки ППП на надёжность в течение длительной наработки [5].

При проведении ускоренных испытаний в определённые моменты времени (точки наработки) проводят контроль электрического функционального параметра (одного или нескольких) каждого экземпляра выборки. Полученные данные дают представление о степени деградации этого параметра для выборки ППП в целом. Кроме того, периодический контроль электрического функционального параметра позволяет определить экземпляры, у которых к моменту контроля возник внезапный отказ, и изъять эти экземпляры из дальнейшего участия в испытаниях. Тем не менее, данные об электрических функциональных параметрах, полученные для этих экземпляров до момента определения факта их внезапного отказа, полезны и будут далее использоваться при обработке результатов испытаний. С учётом количества экземпляров испытываемой

выборки, большой совокупности электрических параметров, проверяемых на информативность, числа контролируемых электрических функциональных параметров в процессе испытаний и выбранного количества временных точек контроля (точек наработки), а также заметной продолжительности времени испытаний объём получаемых данных на момент окончания самих испытаний оказывается достаточно большим, а его анализ и обработка требует применения специальных средств и технологий [6].

Основная часть.

На кафедре проектирования информационно-компьютерных систем Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (БГУИР) в 2020-2022 годах проводились длительные испытания полупроводниковых приборов на надёжность. В качестве испытываемых ППП были выбраны полевые транзисторы большой мощности типа КП744А. Контроль большинства электрических параметров осуществлялся на сертифицированных измерительных установках «ИНЕЙ» и «ГАММА» в испытательном центре ОАО «ИНТЕГРАЛ». Специфические электрические параметры ППП измерялись в лабораториях кафедры с использованием стандартных контрольно-измерительных приборов. Всего для дальнейшей обработки было измерено более 50 электрических параметров, объём выборки составлял 200 экземпляров.

При измерениях параметров на промышленных измерительных установках сразу были получены файлы, в которых приводятся данные о названии параметра, режиме измерения, измеренном значении, размерности, нижнем и верхнем пределах контролируемого параметра. Фрагмент такого файла с указанными данными показан на рисунке 1.

ГАММА 153-04М		КР 744 А		(СЕХ)		01-04-1980	08:35:20
N	Пар	Наименование	Результат	Размер	Нижний	предел	Верхний предел
1.	Проверка	КЗ (30V)	9.355	mkA	0.000		200.000
2.	Проверка	КЗ (-1V)	1.815	mkA	0.000		10.000
3.	Проверка	обр (-.1A)	0.679	V	0.200		2.500
4.	Проверка	обр (.1A)	537.000	mOm	0.000		30000.000
5.	Узп	(250mkA)	2.193	V	2.050		3.900
6.	Iутз	(25V)	5.675	nA	0.000		100.000
7.	Iутз	(-25V)	47.235	nA	0.000		100.000
8.	Уси	(-9.2A)	4.092	V	0.000	Б	1.740
9.	S	(25V)	4.360	A/V	2.840		100.000
10.	Rси	(5.5A)	512.346	mOm	0.000	Б	255.000
11.	Iс	(3V)	5.952	A	9.700	Б	100.000
12.	Iосс	(102V)	0.900	mkA	0.000		150.000

Рисунок 1 – Фрагмент файла измерения параметров полупроводниковых приборов на измерительной установке «ГАММА»

Для дальнейшей обработки из файла использовались только числовые значения измеренных параметров. После каждого измерения формировался массив данных из 12 параметров для каждого из 200 экземпляров. Для удобства и простоты предварительного анализа в ряде случаев можно использовать приложение Microsoft Excel. Оно имеет необходимый функционал для построения графиков и диаграмм, а также для проведения достаточно сложных расчётов. На рисунке 2 показана диаграмма в виде семейства экспериментальных графиков деградации одного из электрических параметров для экземпляров исследуемой выборки.

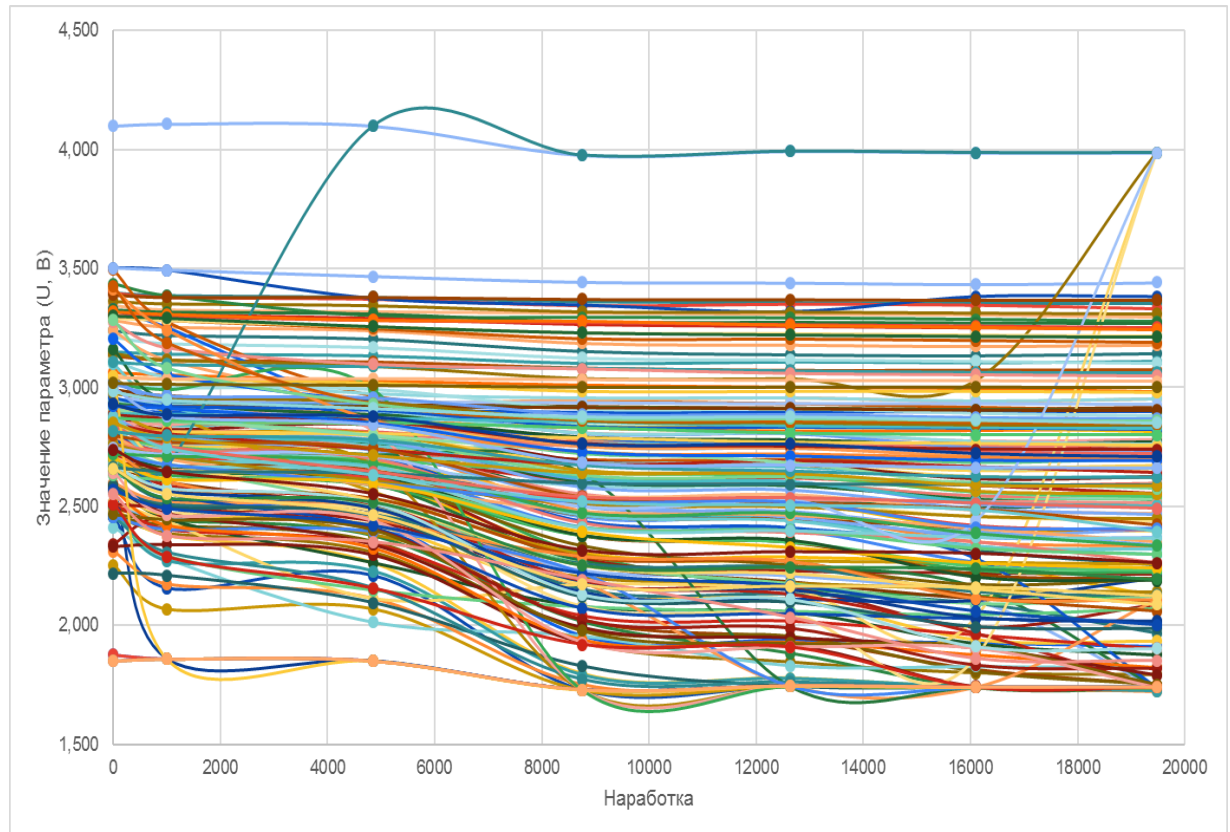


Рисунок 2 – Экспериментальные графики деградации электрического параметра, полученные с помощью приложения Microsoft Excel (размерность наработки – часы)

На этапе предварительного анализа данных использование приложения Microsoft Excel оказывается достаточным. Визуально можно определить отклонение параметра некоторых экземпляров от нормы и получить представление о деградации параметра всей выборки в целом. Однако, даже при рассматриваемом объеме данных возникают трудности при дальнейшем анализе и расчетах.

При использовании онлайн-таблиц от Google первой трудностью стало ограничение числа рядов в графиках до 100 (при наличии 200 экземпляров в испытываемой выборке). Решением может быть построение двух и более графиков путём разделения исходной выборки на несколько. Учитывая то, что для каждого электрического параметра строится отдельный график, такой подход значительно увеличивает время анализа данных. В приложении Microsoft Excel для персональных компьютеров такое ограничение отсутствует.

Для получения графиков для всех контролируемых электрических параметров можно создать шаблон и применять его для каждого отдельного набора данных. Такой подход будет удобен для электрических параметров, значения которых находятся примерно в одном числовом диапазоне и имеют одну шкалу. Если же электрические параметры имеют значительно различающиеся диапазоны значений и разные шкалы (например, равномерную и логарифмическую), то процедуру получения каждого графика приходится проводить отдельно, что при большом числе исследуемых электрических параметров значительно увеличивает время обработки всех данных.

Одним из удобных подходов при анализе числовых данных является использование несложных скриптов, например, на языке программирования Python. Данный подход позволяет за небольшое время и без использования специализированного программного обеспечения проводить анализ большого объема данных. В рамках проводимых

исследований с помощью такого подхода были получены корреляционные поля и графики деградации электрических параметров (рисунок 3).

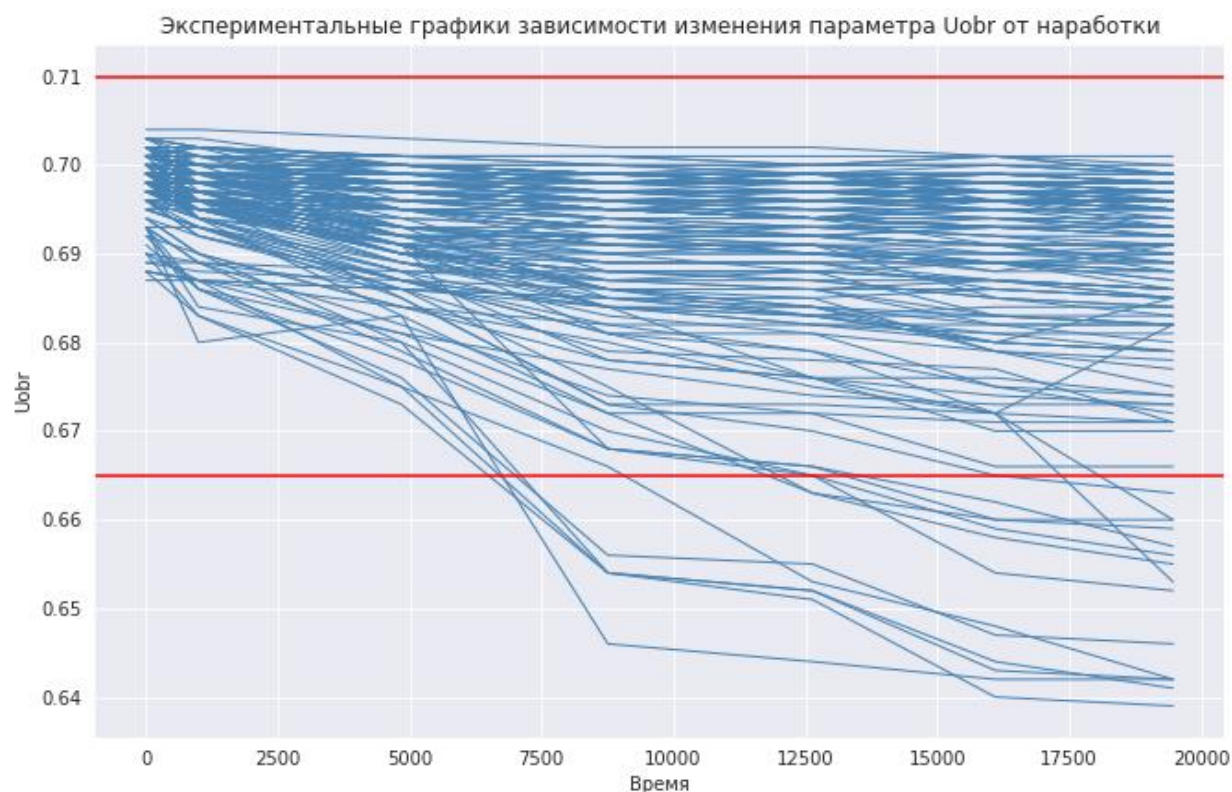


Рисунок 3 – График деградации параметра, полученный с помощью скрипта Python, размерность времени (наработки) – часы

Во время контроля электрических параметров, результаты измерений записываются сразу в файл, то есть отсутствует возможность отображать их на экране монитора. Это обусловлено особенностью используемого измерительного оборудования. Ввиду технических особенностей измерительного оборудования и влияния человеческого фактора, некоторые измерения могут быть недостоверны (например, из-за плохого контакта измерительного оборудования с контролируемым экземпляром). В таком случае, следует привести повторное измерение электрических параметров. Повторное измерение электрических параметров всей выборки ППП может занять большое время, а недостоверность результата измерения параметров конкретного экземпляра может быть определена только после анализа полученных данных.

Измерение некоторых электрических параметров проводилось не на специализированном оборудовании, а с использованием стандартных контрольно-измерительных приборов. В этих случаях получаемые результаты измерений вначале записывались на бумажные носители, а затем вводились в электронные таблицы. Если исключить человеческую ошибку, то такие данные всё равно имеют несистематизированный вид, а их анализ требует большего времени.

Учитывая некоторые недостатки описанных подходов, а также, с целью обеспечения возможности корректировки данных по каждому отдельно рассматриваемому экземпляру исследуемой выборки, было разработано прикладное программное средство, главное окно которого показано на рисунке 4.

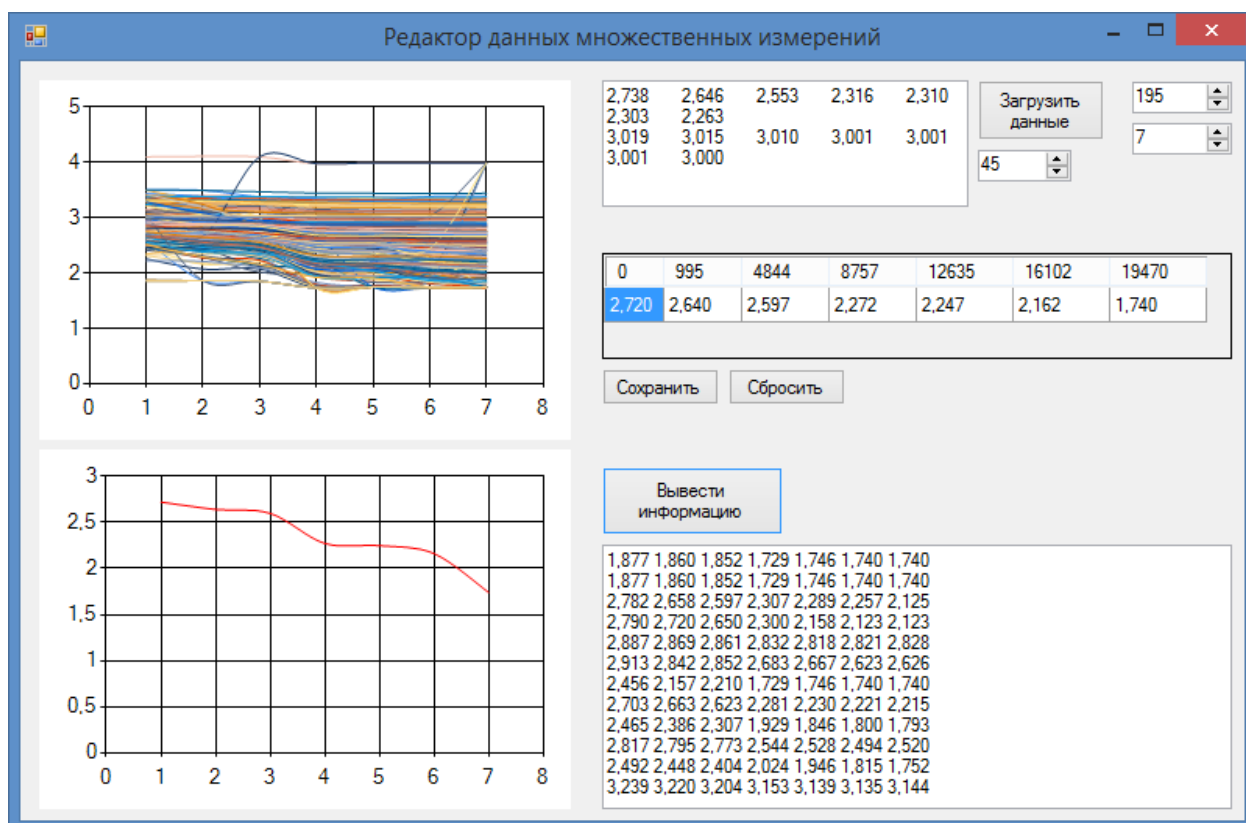


Рисунок 4 – Программное средство для редактирования данных (результатов измерений параметров) конкретного экземпляра выборки

Программное средство позволяет из набора результатов измерений (данных) интересующего электрического параметра выбрать результат измерения, отображаемый для конкретного экземпляра, и при необходимости изменить его. Помимо числовых данных в главном окне программного средства приводятся семейство (набор) экспериментальных графиков изменения электрического параметра для всех экземпляров исследуемой выборки ППП, а также отдельно – график изменения электрического параметра для конкретного выбранного экземпляра выборки.

Заключение.

Для анализа данных, полученных в результате ускоренных испытаний на длительную наработку выборок ППП, могут использоваться различные подходы и специализированные программные средства. Универсальные программные средства для обработки данных удобны и применимы в большинстве научных исследований, но в компьютерных программах этих средств может отсутствовать функционал, необходимый для решения задач, обеспечивающих достижение цели исследования. Специализированные программные средства значительно упрощают процедуру анализа и обработки данных, обладают необходимым функционалом, позволяющим максимально исключить влияние «человеческого фактора» на результаты анализа. Однако использование таких программных средств является узконаправленным. Поэтому для получения более достоверных результатов при обработке больших объемов данных, полученных в результате проведения экспериментальных исследований, следует применять комбинированный подход к анализу данных, предполагающий использование как универсальных инструментов анализа, так и специализированных программных средств.

Список литературы

- [1] Боровиков, С. М. Статистическое прогнозирование для отбраковки потенциально ненадежных

изделий электронной техники: монография // С. М. Боровиков. – М.: Новое знание, 2013. – 343 с.

[2] Прогнозирование надёжности изделий электронной техники / С.М. Боровиков [и др.]; под ред. С.М. Боровикова. – Минск: МГВРК, 2010. – 308 с.

[3] Боровиков, С. М. Индивидуальное прогнозирование надёжности транзисторов большой мощности для электронных устройств медицинского назначения / Боровиков С. М., Казючиц В. О. // Доклады БГУИР. – 2021. – № 19(1). – С. 88–95. – DOI: <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2021-19-1-88-95>.

[4] Казючиц, В.О. Эвристическая модель прогнозирования работоспособности полупроводниковых приборов / В.О. Казючиц, С.М. Боровиков, Е.Н. Шнейдеров // Доклады БГУИР. – 2022. – Т. 20, № 1. – С. 92-100. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2022-20-1-92-100>.

[5] Казючиц, В. О. Аналитика и корреляционный анализ в определении информативных параметров мощных полупроводниковых приборов / В. О. Казючиц, Е. Н. Шнейдеров, С. М. Боровиков // BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня : сборник научных статей VII Международной научно-практической конференции, Минск, 19-20 мая 2021 года / редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск : Бестпринт, 2021. – С. 375–378.

[6] Казючиц, В. О. Технологии Big Data при анализе результатов ускоренных испытаний полупроводниковых приборов на надёжность / В. О. Казючиц, С. М. Боровиков // BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня: сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20-21 мая 2020 года: в 3 ч. Ч. 3 / редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск : Бестпринт, 2020. – С. 385–388.

SOME APPROACHES TO THE PROCESSING OF LARGE VOLUMES OF EXPERIMENTAL DATA OBTAINED WHEN TESTING SAMPLES OF SAME-TYPE SEMICONDUCTOR DEVICES

V.O. KAZIUCHYTS,
*Postgraduate student
BSUIR, Master of
engineering*

S.M. BOROVIKOV,
*PhD
Associate Professor,
Department of
Information and
Computer Systems
Design BSUIR*

E.N. SHNEIDEROV,
*PhD
Vice-Rector for
Education BSUIR,
Associate Professor*

V.P. ZHDANOVICH
*Postgraduate student
BSUIR, Master*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus
E-mail: vladkaz@bsuir.by, bsm@bsuir.by, shneiderov@bsuir.by, zhdanovich@bsuir.by*

Abstract. On the example of large volumes of experimental data obtained when testing samples of semiconductor devices for long-term operation, the effectiveness of possible approaches to their analysis and processing is considered.

Keywords: testing of semiconductor devices, large volumes of experimental data, analysis and data processing.