



Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

 РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ

 РАДИОКОНСТРУКТОРСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ

 ФАКУЛЬТЕТ
ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

 ФАКУЛЬТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

 ФАКУЛЬТЕТ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

 ГУМАНИТАРНЫЙ
ФАКУЛЬТЕТ

 ФАКУЛЬТЕТ
БЕЗОПАСНОСТИ

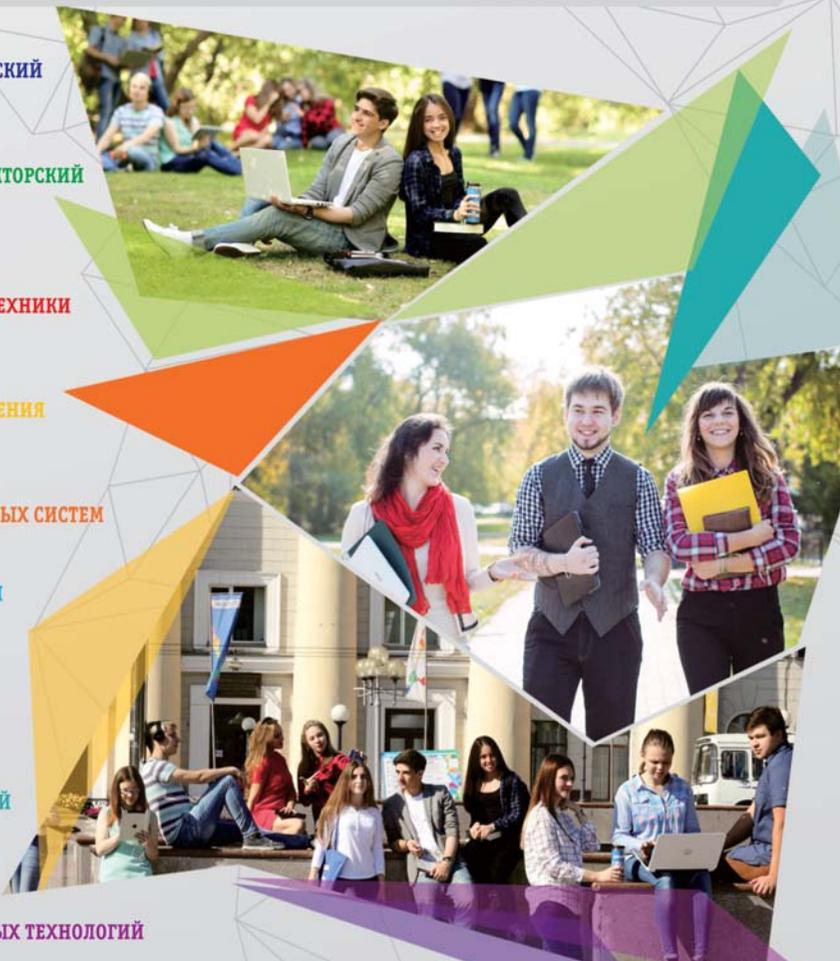
 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ

 ФАКУЛЬТЕТ
ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

 ЮРИДИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ

 ЗАОЧНЫЙ И ВЕЧЕРНИЙ
ФАКУЛЬТЕТ

 ФАКУЛЬТЕТ
ДИСТАНЦИОННОГО
ОБУЧЕНИЯ



**ВЫБИРАЯ БУДУЩЕЕ,
ВЫБИРАЙ TUSUR!**

634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, каб. 129 E-mail: onir@main.tusur.ru
Телефон/Факс: (3822) 900-100 Сайт: <http://tusur.ru/>

Информационный центр абитуриента: magistrant.tusur.ru

Сборник избранных статей научной сессии ТУСУРа



**ПО МАТЕРИАЛАМ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

«НАУЧНАЯ СЕССИЯ ТУСУР–2019»

г. Томск, 22–24 мая 2019 г.

(в двух частях)

ЧАСТЬ 1

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)»

Сборник избранных статей научной сессии ТУСУРа

**по материалам
Международной научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
«Научная сессия ТУСУР–2019»**

22–24 мая 2019 г., г. Томск

В двух частях

Часть 1

В-Спектр
2019

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

С 23

С 23 Сборник избранных статей научной сессии ТУСУРа (Томск, 22–24 мая 2019 г.): в 2 ч. – Томск: В-Спектр, 2019. – Ч. 1. – 320 с.

ISBN 978-5-91191-410-3

ISBN 978-5-91191-411-0 (Ч. 1)

Сборник включает избранные статьи по итогам Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Конференция посвящена различным аспектам разработки, исследования и практического применения радиотехнических, телевизионных и телекоммуникационных систем и устройств, сетей электро- и радиосвязи, вопросам проектирования и технологии радиоэлектронных средств, аудиовизуальной техники, бытовой радиоэлектронной аппаратуры, а также автоматизированных систем управления и проектирования. Рассматриваются проблемы электроники СВЧ- и акустооптоэлектроники, нанопотоники, физической, плазменной, квантовой, промышленной электроники, радиотехники, информационно-измерительных приборов и устройств, распределенных информационных технологий, вычислительного интеллекта, автоматизации технологических процессов, в частности, в системах управления и проектирования, информационной безопасности и защиты информации. Представлены статьи по математическому моделированию в технике, экономике и менеджменте, антикризисному управлению, правовым проблемам современной России, автоматизации управления в технике и образовании, а также работы, касающиеся социокультурных проблем современности, экологии, мониторинга окружающей среды и безопасности жизнедеятельности.

УДК 621.37/.39+681.518 (063)

ББК 32.84я431+32.988я431

ISBN 978-5-91191-410-3

ISBN 978-5-91191-411-0 (Ч. 1)

© Том. гос. ун-т систем управления
и радиоэлектроники, 2019

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ КОРПУСА МУЛЬТИПЛЕКСОРА FOX-515

К.А. Бокова, А.А. Иванов, магистранты

*Научный руководитель С.П. Куксенко, доцент каф. ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, kseniya.b.97@mail.ru*

Выполнена оценка эффективности экранирования корпуса мультиплексора АВВ FOX515 с помощью аналитических моделей. Приведены результаты сравнения с электродинамическим моделированием. Среднее значение абсолютной погрешности наилучшего результата составило 8,53 дБ.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, экранирование, эффективность экранирования, мультиплексор.

Для радиоэлектронных средств (РЭС), функционирующих в критичных условиях электроэнергетики, обеспечение электромагнитной совместимости является одной из важнейших проблем [1]. Жесткость электромагнитной обстановки и условий эксплуатации заставляет принимать меры для повышения помехозащищенности РЭС при их проектировании. К таким мерам относится электромагнитное экранирование. Для обеспечения оптимального теплового режима работы РЭС применяются корпуса с перфорированной стенкой, что приводит к значительному ухудшению их эффективности экранирования (ЭЭ). Важно учитывать это при проектировании корпусов РЭС.

Цель данной работы – оценка ЭЭ корпуса мультиплексора АВВ FOX515 с перфорированной лицевой панелью. АВВ FOX515 является мультиплексорной системой обеспечения сервисных услуг электроэнергетических предприятий. Корпус мультиплексора (рис. 1, а) имеет внутренние размеры 445×270×278 мм³ и толщину стенок $t = 1,5$ мм. Верхняя часть съемной лицевой панели перфорирована массивом 108×15 апертур диаметром $d = 3$ мм. Апертуры расположены в шахматном порядке под углом 30° (рис. 1, б). Лицевая панель имеет угол скоса кромки 45° и притупление кромки (до верхнего ряда апертур) 4 мм.

Приближенная оценка ЭЭ корпуса мультиплексора может быть получена с помощью аналитических моделей [2–4], при этом скос кромки и смещение перфорации относительно центра корпуса не могут быть учтены. Кроме того, в модели [3] не учитывается расположение апертур в шахматном порядке.

Для расчета резонансных частот корпуса в диапазоне до 1 ГГц применялось выражение [6]

$$f_{m,n,p} = \frac{c}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{d}\right)^2},$$

где a, b, d – геометрические размеры корпуса, c – скорость света в вакууме, m, n, p – целые неотрицательные числа, соответствующие распространяющемуся в корпусе типу волн. Результаты вычисления приведены в таблице.

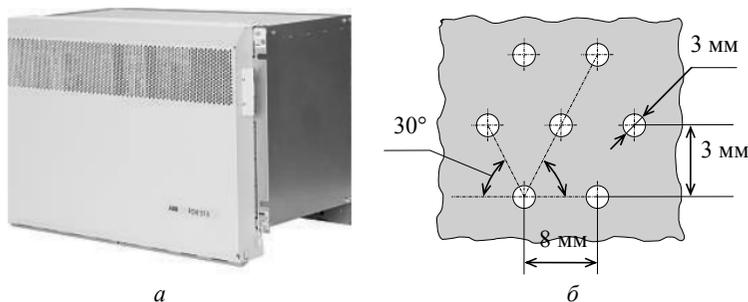


Рис. 1. Корпус мультиплексора ABB FOX515 [5] (а), геометрическая модель перфорации (б)

Резонансные частоты корпуса

m, n, p	1, 0, 1	1, 0, 2	1, 1, 1	1, 1, 2
$f_{m,n,p}$, ГГц	0,635	1,129	0,844	1,213

Оценка ЭЭ корпуса мультиплексора выполнялась в диапазоне частот от 1 МГц до 1 ГГц в точке наблюдения в центре корпуса (на расстоянии 139 мм от лицевой панели) моделями [2–4]. При вычислениях моделью [3] учитывались моды высших порядков TE_{mn} . Также вычисления ЭЭ выполнены с помощью численного метода конечных элементов (МКЭ). Полученные частотные зависимости приведены на рис. 2. Видно, что они согласуются вплоть до частоты первого резонанса $f_{101} = 635$ МГц. Среднее значение абсолютной погрешности результатов вычисления моделью [2] относительно МКЭ составило $\Delta_2 = 14,54$ дБ, аналогично $\Delta_3 = 17,2$ дБ и $\Delta_4 = 8,53$ дБ для моделей [3] и [4] соответственно. На зависимостях, полученных с помощью моделей [2, 4], резонанс на частоте $f_{111} = 844$ МГц отсутствует. Резонансные частоты соответствуют рассчитанным аналитически (см. таблицу) для зависимостей, полученных МКЭ, и моделью [3].

Далее, используя модель [3], выполнены вычисления ЭЭ корпуса при смещении точки наблюдения от 50 до 200 мм. Полученные зависимости приведены на рис. 3. Видно, что при отдалении точки наблюдения от лицевой панели с перфорацией ЭЭ увеличивается, а область узлов смещается к более высоким частотам. Наихудшее значение ЭЭ составило 8,55 дБ и было получено на частоте $f_{101} = 635$ МГц в точке

наблюдения 150 мм, близкой к центру корпуса. Среднее значение ЭЭ в корпусе по четырем исследуемым точкам составило 69,68 дБ.

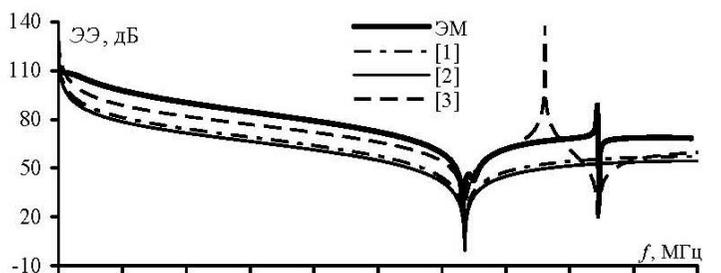


Рис. 2. Частотные зависимости ЭЭ в центре корпуса ABB FOX515

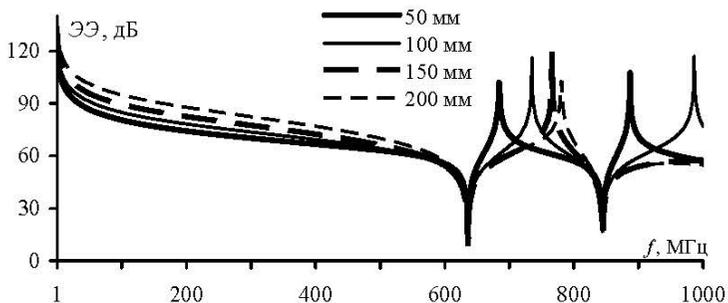


Рис. 3. Частотные зависимости ЭЭ корпуса ABB FOX515 при изменении точки наблюдения

В ходе работы была выполнена оценка ЭЭ корпуса мультиплексора ABB FOX515 с перфорированной лицевой панелью с помощью аналитических моделей [2–4]. Показано, что наилучшей точностью при сравнении с численным МКЭ обладает модель [3]. Также в [3] учитываются высшие типы волн TE_{mn} , что позволяет получить более корректную оценку ЭЭ для относительно больших корпусов и (или) на достаточно высоких частотах. Результаты данной работы могут быть полезны разработчикам РЭС для практического применения аналитических методов при разработке эффективных, с точки зрения электромагнитной совместимости, экранирующих корпусов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI 57417X0172.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяков А.Ф. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике / А.Ф. Дьяков, Б.К. Максимов, Р.К. Борисов. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 768 с.
2. Dehkhoda P. An efficient and reliable shielding effectiveness evaluation of a rectangular enclosure with numerous apertures / P. Dehkhoda, A. Tavakoli, R. Moini // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2008. – Vol. 50, № 1. – P. 208–212.
3. A fast calculation approach for the shielding effectiveness of an enclosure with numerous small apertures / D. Ren, P.A. Du, Y. He et al. // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2016. – Vol. 58, № 4. – P. 1033–1041.
4. Nie B.L. An improved circuitual method for the prediction of shielding effectiveness of an enclosure with apertures excited by a plane wave / B.L. Nie, P.A. Du, P. Xiao // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2018. – Vol. 60, № 5. – PP. 1376–1383.
5. Utility Communications. Multi-service multiplexer FOX515 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://new.abb.com/network-management/ru/sistemy-svyazi/volonkonno-opticheskiye-seti/multiservisnaya-sistema-dostupa-fox515> (дата обращения: 12.02.2019).
6. Устройства СВЧ и антенны. – Ч. 1: Устройства СВЧ: учеб. пособие / В.А. Замотринский, Л.И. Шангина. – Томск: ТУСУР, 2012. – 222 с.

УДК 621.3

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОДЛОЖКИ НА РАССЕЯНИЕ МОЩНОСТИ СИГНАЛА В МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ

*С.Х. Карри, магистрант; Р.С. Суровцев, доцент каф. ТУ, к.т.н.
г. Томск, ТУСУР, каф. ТУ, salim96@list.ru*

Представлены результаты оценки влияния относительной диэлектрической проницаемости подложки на рассеяние мощности сверхкороткого импульса в начале и конце витка меандровой линии. Для этого выполнено квазистатическое моделирование линии, в рамках которого рассмотрены два случая согласования линии с генератором и нагрузкой. Сделаны выводы о влиянии ϵ_r на мощность и предложены направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: меандровая линия, сверхкороткий импульс, рассеяние мощности.

В настоящее время во многих сферах жизни человека применяется радиоэлектронная аппаратура (РЭА). На фоне тенденции её развития (уменьшение габаритов, рост тактовых частот используемых сигналов и увеличение плотности монтажа печатных плат) всё острее становится задача обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) РЭА. Неучет требований ЭМС может привести к нестабильной

А.А. Колегов, А.В. Черникова, Д.В. Сарасеко, К.А. Денисенко
СЛОЖЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ С ПОМОЩЬЮ
ОПТОВОЛОКОННЫХ СИГНАЛЬНЫХ ОБЪЕДИНИТЕЛЕЙ.....216

М.Н. Гаппарова, Н.А. Иванченко, А.С. Перин
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
КОГЕРЕНТНЫХ СВЕТЛЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СОЛИТОНОВ
В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ НИОБАТЕ ЛИТИЯ
С УЧЕТОМ ВКЛАДА ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА.....219

ПОДСЕКЦИЯ 2.6

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

Председатель секции – Заболоцкий А.М., проф. каф. ТУ, д.т.н.;
зам. председателя – Куксенко С.П., доцент каф. ТУ, к.т.н.

А.М. Артюшкина, А.В. Демаков
РАЗРАБОТКА КОАКСИАЛЬНОЙ КАМЕРЫ
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ
КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....222

К.В. Симонова, Д.С. Бодажков
ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ
МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КВЧ-ДИАПАЗОНА, ПОЛУЧАЕМЫХ
МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ.....225

Л.К. Болатова
АЛГОРИТМ И ПРОГРАММА ДЛЯ КВАЗИСТАТИЧЕСКОГО
АНАЛИЗА НЕРЕГУЛЯРНОЙ РАЗБАЛАНСИРОВАННОЙ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЛИНИИ В ВОЗДУХЕ.....228

Е.Б. Черникова
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЛАГОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО
МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА.....232

Рустам Р. Газизов, М.Н. Калинина
ВЫЯВЛЕНИЕ ЭКСТРЕМУМОВ СИГНАЛА С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ
В ДВУХВИТКОВОЙ МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ
РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ЕЕ ПРОВОДНИКАМИ.....236

Ш.В. Куулар, Р.Р. Хажибеков
РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА
ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВХОДНЫХ ЦЕПЕЙ ПИКОСЕКУНДНОГО ЛОКАТОРА..240

Ш.В. Куулар, Р.Р. Хажибеков
СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА
ДЛЯ ПИКОСЕКУНДНОГО ЛОКАТОРА.....244

Ч.Л. Хомушку
ВЫЯВЛЕНИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЭКСТРЕМУМОВ СИГНАЛА
В СИЛОВОЙ ШИНЕ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ.....247

М.В. Храпцов ВЛИЯНИЕ КАСКАДИРОВАНИЯ ПОМЕХОЗАЩИТНЫХ ФИЛЬТРОВ НА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ЦЕПЕЙ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ.....	251
А.А. Иванов РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНОГО КОРПУСА МЕТОДОМ МАТРИЦЫ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ.....	255
К.А. Бокова, А.А. Иванов ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ КОРПУСА МУЛЬТИПЛЕКСОРА FOX-515	259
С.Х. Карри, Р.С. Суровцев АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОДЛОЖКИ НА РАССЕЯНИЕ МОЩНОСТИ СИГНАЛА В МЕАНДРОВОЙ ЛИНИИ.....	262
А.А. Квасников ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДСИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ СИСТЕМЫ TALGAT	266
И.И. Николаев ВЛИЯНИЕ ДВОЙНОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВОЙ ШИНЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ЕЁ ПОГОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ	270
М.А. Самойличенко АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА С ПАССИВНЫМ ПРОВОДНИКОМ В ОПОРНОЙ ПЛОСКОСТИ НА АМПЛИТУДУ ИМПУЛЬСОВ РАЗЛОЖЕНИЯ	273
Л.Т. Таалайбек, М.А. Ембергенов ПОИСК МАКСИМУМА НАПРЯЖЕНИЯ В СВЯЗАННОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ С ПОМОЩЬЮ ЭВОЛЮЦИОННЫХ СТРАТЕГИЙ.....	275
Е.С. Жечев ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЫЧЕК В ОПОРНОМ ПРОВОДНИКЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕРКАЛЬНО-СИММЕТРИЧНОГО МОДАЛЬНОГО ФИЛЬТРА.....	279

ПОДСЕКЦИЯ 2.7

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

Председатель секции – Туев В.И., зав. каф. РЭТЭМ, д.т.н.;
зам. председателя – Вилисов А.А., проф. каф. РЭТЭМ, д.т.н.

А.А. Максименко, Е.С. Ганская, М.В. Андреева ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПАСА СВЕТОДИОДНОГО ИЗЛУЧАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА	282
Д.В. Кожокару, Е.С. Ганская, Е.С. Гайбович МЕТОДЫ ГЕРМЕТИЗАЦИИ СВЕТОДИОДОВ БЕЛОГО ЦВЕТА СВЕЧЕНИЯ	284