



НАУЧНЫЙ
ФОРУМ
nauchforum.ru

ISSN: 2541-8394



№7(75)

НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

МОСКВА, 2024



НАУЧНЫЙ ФОРУМ: ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Сборник статей по материалам LXXV международной
научно-практической конференции*

№ 7 (75)
Июль 2024 г.

Издается с декабря 2016 года

Москва
2024

УДК 51/53+62

ББК 22+3

Н34

Председатель редколлегии:

Лебедева Надежда Анатольевна – доктор философии в области культурологии, профессор философии Международной кадровой академии, член Евразийской Академии Телевидения и Радио.

Редакционная коллегия:

Данилов Олег Сергеевич – канд. техн. наук, научный сотрудник Дальневосточного федерального университета;

Маршалов Олег Викторович – канд. техн. наук, начальник учебного отдела филиала ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ), Россия, г. Златоуст.

Н34 Научный форум: Технические и физико-математические науки: сб. ст. по материалам LXXV междунар. науч.-практ. конф. – № 7 (75). – М.: Изд. «МЦНО», 2024. – 38 с.

ISSN 2541-8394

Статьи, принятые к публикации, размещаются на сайте научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

ISSN 2541-8394

ББК 22+3

© «МЦНО», 2024

Оглавление	
Технические науки	4
Раздел 1. Технические науки	4
1.1. Авиационная и ракетно-космическая техника	4
ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	4
Ладанов Владимир Ильич Карташов Дмитрий Михайлович	
1.2. Строительство и архитектура	8
ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ	8
Туманян Виталий Карникович Раткин Василий Викторович Цирулев Игорь Викторович	
1.3. Технология материалов и изделий текстильной и легкой промышленности	18
ДВУХУРОВНЕВЫЙ МЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ	18
Аль-Араджи Зайнаб Хуссам Духа Карим Гармаш Мерват Дауд Маджид	
1.4. Электроника	28
ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ	28
Кокшарова Екатерина Вячеславовна	
Физико-математические науки	33
Раздел 2. Физика	33
2.1. Физика полупроводников	33
РАСПАД ПРИМЕСНЫХ СКОПЛЕНИЙ СО В SI ПОД ВЛИЯНИЕМ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ	33
Зайнабидинов Сирожиддин Зайнабидинович Тургунов Нозимжон Абдуманнопович Акбаров Шухратжон Косимович	

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

РАЗДЕЛ 1.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

1.1. АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Ладанов Владимир Ильич

доцент

кафедры конструкций

автобронетанковой техники,

Пермский военный институт войск

национальной гвардии Российской Федерации,

РФ, г. Пермь

Карташов Дмитрий Михайлович

заместитель командира 2 взвода

1 роты факультета (технического обеспечения),

Пермский военный институт войск национальной

гвардии Российской Федерации,

РФ, г. Пермь

В настоящее время слова БПЛА, Дроны все чаще встречаются в нашей обыденной жизни. Наверное, нет такой области человеческой деятельности, где бы не использовались беспилотные летательные аппараты. Это использование в военных целях, сельское хозяйство, топография, геология, добыча полезных ископаемых, это разведка, экология, медицина, образование и много и много других применений. Это новое

направление во всем мире привлекает внимание многих молодых людей для возможности стать специалистами в этой области знаний.

История БПЛА начинается скорее на воде чем в воздухе. В конце XIX века, если быть точными, то в 1898 году, неизвестный изобретатель, физик и инженер Никола Тесла сконструировал и продемонстрировал общественности первую в мире радиоуправляемую лодку, что не осталось незамеченным в ученой среде и дало свой толчок развитию сферы управляемых объектов.

Несмотря на общий посыл Николы Тесла, следующим «беспилотником» оказалось не судно, а самый обыкновенный летательный аппарат.

В начале 20-ого века французский конструктор Морис Леже сумел разработать вертолет с двумя винтами, вращающимися противоположно друг другу, запускающийся электродвигателем. Изделию удавалось оторваться на небольшой промежуток времени от поверхности.

Многовинтовые вертолеты разрабатывались еще в первые годы вертолетостроения. Один из первых квадрокоптеров, который реально оторвался от земли и мог держаться в воздухе, был создан Георгием Ботезатом и испытан в 1922 году. Недостатком этих аппаратов была сложная трансмиссия, передававшая вращение одного мотора на несколько винтов. Изобретение хвостового винта и автомата перекоса положило конец этим попыткам. Новые разработки начались в 1950-е годы, но дальше прототипов дело не продвинулось.

Новое рождение БПЛА получили в XXI веке, уже как беспилотные аппараты.

В целом, БПЛА – это гибкие и всеобъемлющие системы, которые могут выполнять множество задач с высокой точностью, безопасностью и экономичности.

БПЛА можно классифицировать по различным признакам, таким как цель применения, размер, конструкция и другие. Вот некоторые из видов:

1. По цели применения:

- разведка и наблюдение: БПЛА, используемые для сбора информации с помощью камер, сенсоров и других приборов для наблюдения за землей, погодой и т.д.;
- военные и разведывательные: БПЛА, используемые для сбора информации в военных операциях, для нанесения ударов на цели;
- доставка: БПЛА, используемые для доставки грузов;
- экспериментальные: БПЛА, используемые для исследований в области авиации и технологии.

Главными классификационными свойствами БПЛА подразумеваются: назначение и глубина применения, массогабаритные характеристики и аэродинамическая диаграмма компоновки [1].

2. По предназначению и глубине использования классифицируются:

- тактического предназначения (ближнего действия) с радиусом действия до 100 км; оперативно-тактического назначения (маленькой дальности) с радиусом действия от 100 километров до 250 километров;
- специального назначения (средней дальности) с диаметром действия от 250 километров до 500 км;
- стратегического назначения (огромной дальности) с диаметром действия менее 500 км.

3. Массогабаритные оценки:

- мини-класс (до 1 килограммов);
- малого класса (до 30 килограммов);
- легкого класса (до 200 килограммов);
- среднего класса (до 500 килограммов);
- тяжелого класса (менее 500 килограммов).

По аэродинамической системе компоновки БПЛА подразделяются:

- самолётного типа;
- мультироторного типа;
- аэростатического типа;
- орнитоптерного типа.

Дополнительными классификационными признаками БПЛА являются: высота полета над уровнем моря, быстрота полета, длительность полета и условия базирования. Коэффициенты данных классификационных признаков будут являться требованиями, с учетом конкретно стоящих перед БПЛА задачами.

Состоящие на оснащении (снабжении) в войсках БПЛА выполняют следующие обеспечивающие задачи:

- разведка (искатель) наземных и морских целей (объектов) заинтересованности и слежение за ними;
- разведка рейсов движения, состояния дорог, мостов и переправ;
- слежение и патрулирование заданных районов;
- аэрофотосъемка заданных районов с последующей картографической привязкой фотопортретов, а также видео и фото документирование объектов контроля для предоставления обзорных и подробных изображений.

С мониторингом специфики исполняемых задач для нужд войск целесообразно рассматривать и предъявлять предписания к комплексам

самолётного и вертолетного типа, не ограничивая массогабаритные оценки. Например, возможное оснащение тяжелых БПЛА ракетами, в целях использования при проведении дополнительных операций по поиску и уничтожению групп незаконных вооружённых формирований [2].

Существует множество типов БПЛА, которые различаются по размеру, назначению, способности к выполнению различных задач. Некоторые из наиболее распространенных типов БПЛА:

1. Мультироторные БПЛА – используют несколько винтов, которые позволяют совершать маневры в ограниченном пространстве, такие как ответвления и центры городов.

2. Фиксированные крыло БПЛА – имеют крылья в форме «стабильности», которые поддерживают его в воздухе и позволяют ему достаточно долго летать на больших расстояниях.

3. Гибридные БПЛА – сочетают в себе свойства мультироторных и фиксированных крыльев БПЛА.

4. Передвижные БПЛА (аппараты-жуки) – имеют маленькие размеры и способны выполнять различные задачи, такие как наблюдение за животными в их естественной среде обитания.

5. Центроходные БПЛА – имеют внешнюю обтекаемую форму, которая позволяет им набирать скорость при полете на большие расстояния.

6. Бесшумные БПЛА – занимаются разведкой и наблюдением без обнаружения противника.

7. БПЛА с вертикальным взлетом и посадкой – одни из самых удобных для работы в условиях городской застройки.

8. Автономные БПЛА – могут управляться автономно без участия оператора, позволяя им работать в сложных условиях и выполнять задачи на больших расстояниях.

9. Региональные БПЛА – используют в тех местах, где использование техники или людей могут быть опасны для жизни.

10. Тактические БПЛА – выполняют разведку и наблюдение в тылу противника[1, 2].

Список литературы:

1. Корченко А.Г., Ильяш О.С. Обобщённая классификация беспилотных летательных аппаратов // Сборник научных работ. Харьковский университет Воздушных Сил. 2012. № 4 (33) с. 27-36.
2. Бондарев А.Н., Киричек Р.В. Обзор беспилотных летательных аппаратов общего пользования и регулирования воздушного движения БПЛА в разных странах // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Том 4. № 4. с. 13-23.

1.2. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ

Туманян Виталий Карникович

аспирант

*Саратовский государственный технический
университет им. Гагарина Ю.А.,
РФ, г. Саратов*

Раткин Василий Викторович

канд. техн. наук, доцент,

*Саратовский государственный технический
университет им. Гагарина Ю.А.,
РФ, г. Саратов*

Цирулев Игорь Викторович

аспирант,

*Саратовский государственный технический
университет им. Гагарина Ю.А.,
РФ, г. Саратов*

FEATURES OF OPERATION OF REINFORCED CONCRETE TRANSPORT STRUCTURES IN AN AGGRESSIVE ENVIRONMENT

Vitaliy Tumanyan

Graduate student

*Saratov State Technical University
name after Gagarin Y.A.,
Russia, Saratov*

Vasily Ratkin

*Candidate of Technical Sciences
Associate Professor Saratov State Technical
University named after Gagarin Y.A.,
Russia, Saratov*

Igor Tsirolev

*Graduate student
Saratov State Technical University
name after Gagarin Y.A.,
Russia, Saratov*

Аннотация. В данной статье рассматриваются различные факторы и последствия их воздействия на конструкции. Понимание воздействия агрессивных сред и принятие соответствующих мер являются важными аспектами обеспечения долговечности и безопасности транспортных сооружений. Так же в статье произведен анализ способов защиты транспортных сооружений от воздействия агрессивных сред и методов повышения их долговечности.

Abstract. This article discusses various factors and the consequences of their impact on structures. Understanding the impact of corrosive environments and taking appropriate measures are important aspects of ensuring the durability and safety of transport structures. The article also analyzes methods for protecting transport structures from the effects of aggressive environments and methods for increasing their durability.

Ключевые слова: железобетон; коррозия; агрессивная среда; повреждения; защита; долговечность.

Keywords: reinforced concrete; corrosion; aggressive environment; damage; protection; durability.

Введение

Транспортные сооружения являются важными элементами инфраструктуры, обеспечивающими передвижение людей и грузов с помощью различных видов транспорта. В подавляющем большинстве случаев эти сооружения оказываются подвержены агрессивной среде, которая может нанести значительный вред их эксплуатации.

Агрессивная среда может быть вызвана различными факторами. Например, при строительстве транспортных сооружений в прибрежных районах они подвержены удару морской воды и соли, что может

привести к коррозии и разрушению конструкций. Также при эксплуатации дороги и мосты могут подвергаться воздействию химических веществ, таких как соли для борьбы с гололедом и кислотные дожди, что также может вызывать коррозию и разрушение.

1. Воздействие агрессивных сред

Понятие «агрессивная среда» следует относить к достаточно широкому кругу химических и геофизических факторов, влияющих на состояние строительных конструкций и материалов, из которых они изготовлены. Воздействие агрессивных сред на железобетон может иметь разные последствия, в зависимости от конкретных химических веществ и условий эксплуатации. Железобетон, как материал, обладает хорошей устойчивостью к различным внешним воздействиям, но в некоторых случаях его структура и свойства могут быть подвержены деградации.

Коррозия железобетона является одной из основных проблем, с которой может столкнуться данная конструкционная материал. Она может возникать из-за длительного воздействия агрессивных сред, влаги, химических соединений и других факторов.

Главной причиной коррозии железобетона является реакция металлической арматуры с окружающей средой. Воздействие агрессивных элементов повреждает защитный слой окислов на поверхности арматуры, что затем приводит к образованию ржавчины. Ржавая арматура увеличивает свой объем, что приводит к трещинам в бетоне. Это, в свою очередь, приводит к деградации бетона, уменьшению прочности конструкции и возможности обрушения сооружения. В таблице 1 (примеры взаимодействия конструкций со средой) приведены типичные случаи взаимодействия конструкций со средой.

Таблица 1.

Примеры взаимодействия конструкций со средой

Среда	Условия воздействия среды	Преобладающие процессы в бетоне
Воздушно-влажная	Безнапорное	Нейтрализация
	Напорное	То же, ускоренная
Воздушно-влажная, с присутствием растворов солей, кислот и т. д. и с непосредственным периодическим увлажнением	Безнапорное	Увеличение количества внесенных агрессивных компонентов или продуктов из взаимодействия с цементным камнем, нейтрализация, диффузия агрессивных ионов

Среда	Условия воздействия среды	Преобладающие процессы в бетоне
	Напорное	Те же процессы, ускоренные +выщелачивание
Водная с присутствием растворов солей, кислот и т. д.	Безнапорное	Диффузия агрессивных ионов
	Напорное	То же + выщелачивание

По физическому состоянию агрессивные среды делятся на три типа: твердые; жидкие; газообразные. Жидкие среды могут быть органическими и неорганическими.

У каждого физического состояния своя степень агрессивности воздействия, и она определяется по [1]:

- для газообразных сред – видом и концентрацией газов (группа газов), и температурно-влажностным режимом помещений или зоной влажности территории;
- для жидких сред – наличием и концентрацией агрессивных агентов, температурой, величиной напора или скоростью движения жидкости у поверхности конструкции;
- для твердых сред (соли, аэрозоли, пыль, грунты) – дисперсностью, растворимостью в воде, гигроскопичностью, температурно-влажностным режимом помещений или зоной влажности.

В зависимости от интенсивности агрессивного воздействия на бетонные и железобетонные конструкции среды делятся на:

- неагрессивные; слабоагрессивные;
- среднеагрессивные;
- сильноагрессивные.
- По характеру воздействия:
- химические (например, сульфатная, магнизальная, кислотная, щелочная и т.п.);
- биологические (прямое воздействие растений, мхов, грибов, бактерий; жизнедеятельность микроорганизмов).

Предложенные В.М. Москвиным [5] три вида коррозии железобетона охватывают довольно широкий круг коррозионных факторов, воздействующих на цементный камень и бетон, и позволяют научно обоснованно разрабатывать способы повышения их долговечности при службе в большинстве жидких агрессивных сред, то они нашли достаточно полное отражение при дальнейшем изложении физико-химической сущности коррозионных процессов.

К первому виду коррозии В.М. Москвин относит все те процессы, которые возникают в цементном камне и бетоне при действии на них

вод с малой временной жесткостью, что приводит к физико-химическому растворению продуктов гидратации цемента.

В основу коррозионных процессов второго вида В.М. Москвиным положены обменные химические реакции взаимодействия составных частей цементного камня с растворенными в воде химическими веществами и образованием легкорастворимых или аморфных продуктов.

Третий вид коррозии объединяет все те процессы коррозии, в результате которых в порах бетона образуются малорастворимые соли. Процессы их кристаллизации в итоге являются причиной разрушения.

2. Повреждения и состояние конструкций вследствие действия агрессивных сред

Дефекты и повреждения железобетонных конструкций транспортных сооружений можно классифицировать по следующим признакам [4]:

1) По виду повреждений:

- повреждения, приводящие к изменению расчетной схемы (превращение неразрезного пролетного строения в разрезное, распорной конструкции – в безраспорную и т.д.);

- усталостные повреждения в виде трещин в элементах;

- коррозионные повреждения;

- потеря местной или общей устойчивости отдельных элементов или их частей; трещины;

- механические повреждения.

2) По скорости развития до опасной стадии:

- развивающиеся мгновенно (хрупкое разрушение, потеря устойчивости); развивающиеся быстро (усталостные трещины);

- развивающиеся постепенно (коррозия элементов, расстройство болтовых и заклепочных соединений)

3) По степени опасности:

- весьма опасные (трещины в элементах, потеря устойчивости отдельных элементов, изменение расчетной схемы);

- опасные (сильная коррозия);

- малоопасные (дефекты окраски).

На рисунках 1–4 представлены характерные дефекты конструкций железобетонных транспортных сооружений, подверженных коррозии.



Рисунок 1. Разрушение защитного слоя и коррозия арматуры плиты сталежелезобетонного пролетного строения моста [3]



Рисунок 3. Разрушение защитного слоя и коррозия арматуры балок путепровода [2]



*Рисунок 3. Разрушение конструкции
перильного ограждения моста [1]*



*Рисунок 4. Разрушение защитного слоя и коррозия арматуры
ригеля и тела опоры моста [7]*

3. Защита железобетонных конструкций от воздействия агрессивных сред

Защита конструкций из бетона и железобетона от коррозии заключается в снижении агрессивности среды, повышении стойкости конструкций, устройстве защитных покрытий. Часто эти мероприятия применяются комплексно [6].

В качестве мер по защите железобетона от воздействия агрессивных сред необходимо принимать:

- Качественное проектирование: важно учитывать агрессивные условия окружающей среды при проектировании железобетонных конструкций. Например, предусмотреть антикоррозионные покрытия и системы защиты.

- Выбор соответствующих материалов: при выборе материалов для железобетонных конструкций необходимо учитывать их устойчивость к агрессивным средам. Некоторые материалы, например, специальные виды цемента или добавки, могут обеспечить дополнительную защиту от агрессивных факторов.

- Качественное исполнение работ: важно обеспечивать правильное выполнение всех строительных работ, чтобы минимизировать возможные дефекты и повреждения конструкций.

- Применение защитных покрытий: нанесение на поверхность железобетонных конструкций специальных защитных покрытий может снизить проникновение агрессивных веществ.

- Регулярное обслуживание и ремонт: регулярное обслуживание конструкций позволяет своевременно выявлять и устранять повреждения, сохраняя их эффективную работу. Ремонт должен проводиться квалифицированными специалистами с использованием соответствующих материалов и методов.

- Соблюдение стандартов и правил эксплуатации: при эксплуатации железобетонных конструкций важно следовать рекомендациям и стандартам, которые предусмотрены для защиты от агрессивных сред.

В соответствии с нормативными документами для предохранения от коррозии бетона и железобетона предусматриваются мероприятия первичной и вторичной защиты. Первичная защита предусматривает оптимальный с точки зрения коррозионных факторов выбор проектно-конструктивных решений железобетонных конструкций, применение способов и материалов для изготовления коррозионностойких бетонных и железобетонных конструкций на стадиях проектирования и строительства.

Вторичная защита предусматривает применение защитных средств и материалов сразу после ввода объекта в эксплуатацию и в процессе эксплуатации.

4. Заключение

Анализируя приведенные в данной статье исследования и данные об эксплуатации реальных сооружений, можно сделать несколько выводов:

- транспортные сооружения эксплуатируются в агрессивных средах, которые оказывают существенное влияние на механические характеристики железобетона.
- само влияние среды на железобетон зависит от множества факторов: состава среды и концентрации агрессивных элементов, температуры (перемены температуры), влажности, расположения сооружения, характеристик бетона и арматуры.
- изучение процесса влияния агрессивных сред на железобетонные элементы транспортных сооружений необходимо для разработки способов их защиты и повышения долговечности.

Преждевременное разрушение железобетонных конструкций, потеря ими герметичности, теплозащитных и других эксплуатационных качеств приводят к крайне нежелательным последствиям. Поэтому защита от коррозии всех конструкций из каменных материалов с целью обеспечения расчетных сроков их службы и поддержания требуемых эксплуатационных качеств зданий и сооружений имеет значительное практическое значение, и ни в коем случае нельзя пренебрегать данной проблемой и своевременно принимать соответствующие меры по предотвращению коррозионного разрушения бетонных и железобетонных конструкций.

Список литературы:

1. Овчинникова Т.С. Коррозия и антикоррозионная защита железобетонных мостовых конструкций/ Т.С. Овчинникова, А.Н. Маринин, И.Г. Овчинников // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ», сентябрь-октябрь 2014. – Вып. 5 (24). – 25 с.
2. Цирулев И.В., Раткин В.В., Анализ причин аварий и разрушений мостовых сооружений. Обзор аварий и разрушений, произошедших за 2022-2023 годы// Флагман науки: научный журнал. Ноябрь 2023.-СПб, Изд. ГНИИ «Нацразвитие»-2023. №10(10).

3. Туманян В.К., Цирулев И.В., Раткин В.В. Анализ причин возникновения дефектов и повреждений сталежелезобетонных конструкций транспортных сооружений, влияющих на их несущую способность и долговечность на примере обследования мостового перехода в г. Саратове // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2024. – № 2(65);
4. Быстров В.А., Шайкевич В.Л. Прогнозирование надежности конструкций стальных и сталежелезобетонных мостов. – Л.: ЛИСИ, 1989. – 96 с.
5. Селяев В.П. Химическое сопротивление и долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: учеб. пособие/ В.П. Селяев, Т.А. Низина, В.Н. Уткин. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2003. – 48 с.
6. Электронный ресурс (<https://www.interpribor.ru/restoration-of-the-protective-layer-of-concrete>)

1.3. ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ДВУХУРОВНЕВЫЙ МЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аль-Араджи Зайнаб Хуссам

*доктор философии, доцент
Багдадский университет,
Колледж естественных наук для женщин,
Женский научный колледж,
Ирак, г. Багдад*

Духа Карим Гармаиш

*доцент,
Багдадский университет,
Колледж естественных наук для женщин,
Женский научный колледж,
Ирак, г. Багдад*

Мерват Дауд Маджид

*доцент
Багдадский университет,
Колледж естественных наук для женщин,
Женский научный колледж,
Ирак, г. Багдад*

TWO-LEVEL MECHANICAL ANALYSIS OF PRINTED CIRCUIT BOARD

Zainab Hussam Al-Araji

*PhD., lecture,
University of Baghdad,
College of Science for Women,
Physics Department at University of Baghdad,
Iraq, Baghdad*

Dhuha kareem harfash

*PhD., lecture,
University of Baghdad,
College of Science for Women,
Physics Department at University of Baghdad,
Iraq, Baghdad*

Mirvat Dawood Majed

*PhD., lecture,
University of Baghdad, College of Science for Women,
Physics Department at University of Baghdad,
Iraq, Baghdad*

Аннотация. В статье представлены исследования математического моделирования электронного оборудования и эффективного метода выполнения широкого спектра задач механического анализа (статическое ускорение, вибрации, удары). Данная модель и метод позволяют с достаточной точностью получить требуемые механические характеристики деформированных конструкций для всех собираемых элементов (включая шасси, печатные платы и электронные компоненты). Модель совместима с вычислительным оборудованием класса рабочей станции. Основная задача анализа разделена на два уровня: задача верхнего уровня для шасси и печатных плат с упрощенными компонентными моделями и несколько задач нижнего уровня для отдельных компонентных моделей. Нижнеуровневые задачи используют результаты верхнеуровневых задач в качестве граничных условий и условий нагрузки. Такая методика расчета позволяет решать задачи нижнего уровня только для наиболее деформированных компонентов и значительно экономить время, пропуская другие. В статье также рассматривается способ установления граничных условий и условий нагрузки для задач нижнего уровня и критерии необходимости проведения анализа нижнего уровня для отдельных компонентов.

Abstract. The article presents studies of mathematical modeling of electronic equipment and an effective method for performing a wide range of tasks of mechanical analysis (static acceleration, vibrations, shocks). This model and method make it possible to obtain with sufficient accuracy the required mechanical characteristics of deformed structures for all assembled elements (including chassis, printed circuit boards and electronic components). The model is compatible with workstation-class computing equipment. The main task of the analysis is divided into two levels: an upper-level task for chassis and printed circuit boards with simplified component models

and several lower-level tasks for individual component models. Lower-level tasks use the results of upper-level tasks as boundary conditions and load conditions. This method of calculation allows us to solve lower-level problems only for the most degraded components and significantly save time by skipping others. The article also discusses a way to establish boundary conditions and load conditions for lower-level tasks and criteria for the need for a lower-level analysis for individual components.

Ключевые слова: бортовое электронное оборудование; механическая надежность; Метод конечных элементов (МКЭ).

Keywords: on-board electronic equipment; mechanical reliability; Finite element method (FEM).

I. Введение

Процесс создания новых образцов технического оборудования включает в себя различные этапы: проектирование, инженерно-конструкторские разработки и экспериментальные испытания различных узлов и агрегатов в целом.

Электронное оборудование авиакосмического и военного назначения отличается высокой сложностью и жесткими требованиями к надежности. Поэтому расходы, связанные с тестированием, становятся намного выше, чем расходы на проектирование.

Совершенствование инструментов моделирования физических процессов позволяет решать различные задачи надежности, начиная с экспериментального уровня и заканчивая проектным. Это позволяет сократить время разработки и сократить общие расходы. В то же время механическое моделирование поведения детализированной модели требует высокой вычислительной мощности. Таким образом, задача нахождения подходящей методики для быстрого расчета параметров механической надежности остается актуальной.

В настоящее время мы располагаем различными методами расчета и программными продуктами для моделирования таких механических нагрузок, как статическое ускорение и смещение, гармонические и широкополосные вибрации, удары. Возможность их использования с минимальными корректировками вместо разработки и внедрения новых методов и программного обеспечения для решения всей задачи [1,2]. Например, Метод конечных элементов (МКЭ) реализуется в следующих случаях.

II. Двухуровневый подход

A. Основные допущения

Решение статического случая нагрузки в составе конечных элементов сводится к построению матрикс жесткости, ее инверсии и расчету узловых перемещений и вращений для каждого элемента. Для случаев динамических нагрузок часто используемые методы основаны на сочетании собственных режимов.

Использование детальной геометрии для всех компонентов в модели устройства требует высокой вычислительной мощности и представляется не очень эффективным. С другой стороны, использование упрощенных моделей не позволяет с достаточной точностью рассчитать их механические параметры надежности. В этом контексте естественным путем является разделение основной вычислительной задачи на подуровни: уровень несущей структуры, состоящей из шасси и печатных плат и компонентный уровень. Целесообразно использовать прототипы компонентов, максимально упрощенные на верхнем уровне анализа, а на нижнем уровне – детализированные.

Существует два основных предположения о природе взаимного влияния между этими двумя уровнями в обсуждаемом методе:

1) Предполагается, что на верхнем уровне (шасси и печатные платы) роль электронного компонента заключается в повышении жесткости и массы соответствующей области печатной платы.

2) Предположение для нижнего уровня заключается в том, что напряженно-деформированное состояние электронной компоненты как в случае статической, так и динамической нагрузки определяется не ее собственными режимами, а деформацией печатной платы и эквивалентным статическим ускорением.

Первое предположение подтверждается хорошим согласием результатов моделирования и экспериментальных данных, где в модели прибора были использованы прототипы плоских и массовых компонентов [3-6].

B. Граничные условия

Для подтверждения второго предположения и выбора наилучшего способа задания граничных условий и условий нагрузки на нижнем уровне был проведен следующий численный эксперимент.

В анализе нижнего уровня использовалась подробная геометрия детали (рис. 1). Корпус компонента был склеен гибкими контактами, где к печатной плате припаивалась часть размером 30×30 мм. Эталонная модель имела идентичную структуру и была интегрирована непосредственно в верхний уровень КЭ-модели. Таким образом, для эталонной модели перенос граничных условий не требовался. Гармоническая

вибрационная нагрузка с ускорением 25 G была смоделирована на высоком уровне. Статический анализ с эквивалентным ускорением проводился на нижнем уровне.

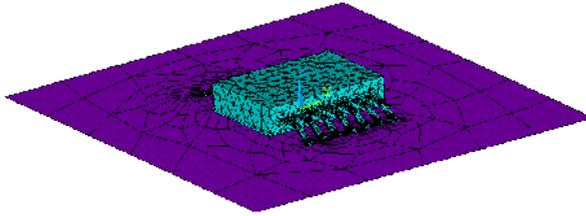


Рисунок 1. Геометрия нижнего уровня КЭ-модель

Были сопоставлены четыре случая:

- 1 – анализ исходного верхнего уровня;
- 2 – анализ нижнего уровня с узловым смещением и передачей данных вращения по краям модели печатной платы;
- 3 – анализ нижнего уровня с переносом данных о смещении и вращении узлов на всю область модели печатной платы;
- 4 – анализ нижнего уровня с смещением узлов, и передача данных о вращении в область контакта печатной платы с компонентом.

Результаты расчетов показывают, что наилучшим согласованием с эталонным случаем является анализ нижнего уровня, при котором передача пограничных данных осуществляется по краям модели печатной платы. Таким образом, можно получить 0,4% отклонение от референтных результатов. Другие варианты передачи граничных условий приводят к значительным ошибкам при расчете механических напряжений (рис. 2 и 3).

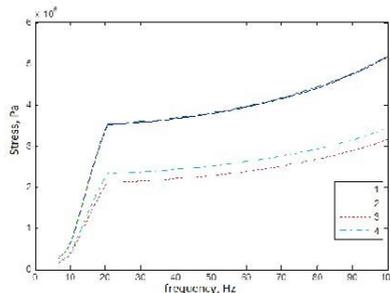


Рисунок 2. Максимальные значения напряжений в паяльных соединениях

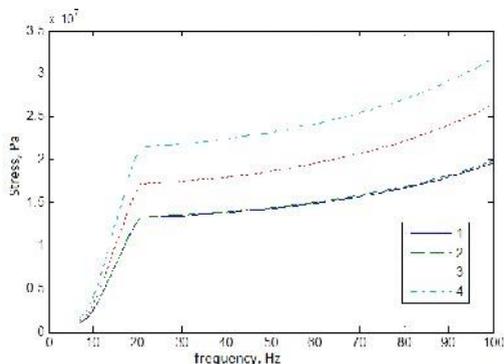


Рисунок 3. Максимальное значение напряжений в гибких контактах

Эта ситуация связана с ошибками, возникающими при интерполяции данных от грубой к тонкой сетке. Во втором случае ошибки интерполяции применяются на границе локальной модели печатной платы и сглаживаются в области крепления компонентов. В третьем и четвертом случаях те же ошибки применяются непосредственно к монтажной поверхности детали.

С. Расчет экономии времени и ресурсов

Задача подтверждения механической надежности электронного устройства не обязательно требует расчета параметров напряженно-деформированного состояния всех его компонентов на нижнем уровне. В большинстве случаев необходимый вывод можно сделать на самом высоком уровне, проанализировав напряженно-деформированное состояние модели печатной платы и параметры реакции. Можно использовать следующие критерии:

- a_n – нормальное ускорение на поверхности крепления;;
- a_t – касательное ускорение на поверхности крепления;
- k_b – некоторые характеристики изгиба поверхности крепления.

Значения a_n и a_t могут быть получены непосредственно из результатов анализа верхнего уровня. Параметр k_b может быть принят за разницу между углами вращения узловой поверхности крепления. В случае, если элементы модели печатной платы не поддерживают степень свободы вращения, вторая пространственная производная узловых перемещений может быть приблизительно оценена.

Методика подтверждения механической надежности электронного устройства состоит из следующих этапов:

а) Построены компонентные модели нижнего уровня для статического анализа и рассчитаны критерии σ_n , σ , k_b . Эти модели и значения критериев сохраняются для дальнейшего использования.

б) Построена модель устройства верхнего уровня и решены все необходимые задачи анализа.

с) Для каждой задачи анализа верхнего уровня рассчитываются параметры σ_n , σ , k_b на площадях крепления компонентов для принятия решения о необходимости проведения анализа нижнего уровня.

д) Для получения более точной оценки надежности при необходимости выполняются задачи анализа нижнего уровня.

Такая методика расчета позволяет решать задачи нижнего уровня только для наиболее деформированных деталей и значительно экономить время, пропуская "безопасные".

III. Методика применения

А. Автоматизация задач предварительной/последующей обработки

Кроме того, еще одним ресурсом экономии времени является автоматизация задач пре/постобработки. Программный модуль ANSYS® Mechanical APDL™ позволяет осуществлять взаимодействие в пакетном режиме, которое используется для автоматизации. Внешний вариант программного обеспечения для автоматизации показан ниже (рис. 4).

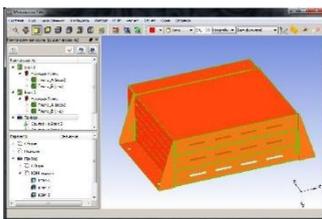


Рисунок 4. Внешний вид программного обеспечения для автоматизации предварительной/ последующей обработки

Данное программное обеспечение имеет пользовательский интерфейс, который настраивается специально для целей электронного проектирования. Это минимизирует прямое взаимодействие с базовым решающим устройством. База данных программного обеспечения включает в себя FE-шаблоны для элементов шасси, печатных плат и электронных компонентов. Реализованы все необходимые инструменты для импорта геометрии CAD и создания новых КЭ-шаблонов.

Для оценки времени, необходимого для полного цикла механического анализа, см. таблицу ниже (Таблица 1). Все указанные значения были измерены на компьютере платформы Intel Core i7 950 3,06 ГГц. Поскольку все аналитические критерии нижнего уровня хранятся в прикладной базе данных, соответствующие задачи могут быть также автоматизированы.

В. Составление модели верхнего уровня

Для упрощения процесса построения модели верхнего уровня из числа простейших шаблонов используется следующая методика:

а) Каждый шаблон имеет специальные узлы или группы элементов, которые определяются на этапе создания шаблона. Для ANSYS® Mechanical APDL™ модуля эти группы называются "компонентами". Само название группы состоит из типа связи и номера счета (например "parents_1", "childs_3", "siblings_10"). Таким образом, это имя отражает шаблонные отношения в иерархии моделей. В случае, если все дети установлены на одной и той же поверхности, то родительский шаблон может иметь только одну группу "childs_", которая покрывает эту поверхность.

б) Для каждого уровня иерархии модели сначала загружается родительский шаблон. Затем все его дети загружаются и подключаются с помощью предопределенных групп "родительские_" и "childs_". Также создаются контакты для групп "siblings_" в дочерних шаблонах.

в) На верхнем уровне иерархии моделей граничные условия и условия нагрузки применяются к соответствующим названным группам (например, "фиксированный_1", "Force_3", "preassure_10").

Такая методика позволяет унифицировать структуру шаблона и варьировать его сложность без изменения основного алгоритма построения (рис. 5).

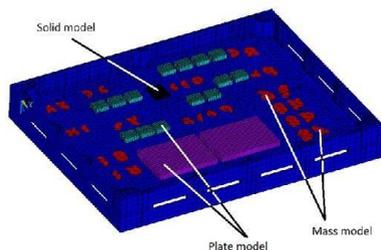


Рисунок 5. Пример комбинирования шаблонов различной сложности

С. Проверка и корректировка модели.

Основной метод верификации модели заключается в сравнении полученных результатов с экспериментальными данными. При этом необходимо учитывать, что профиль нагрузки не идеален. Таким образом, необходимо использовать данные таблицы эталонного датчика. Другой способ манипулировать моделью и регулировать ее.

Построение точной модели для нового электронного компонента от 600 до 1800 характеристик без перестройки структуры КЭ приводит к изменению структуры слоя печатной платы. В терминах КЭ-модуля определение многослойного сечения должно быть изменено. Реальное изображение схемы в большинстве случаев не нужно размещать на печатной плате. Толщина соответствующих слоев может быть изменена. Сочетание этих двух методов позволяет достичь хорошего согласия расчетных и экспериментальных данных (рис. б).

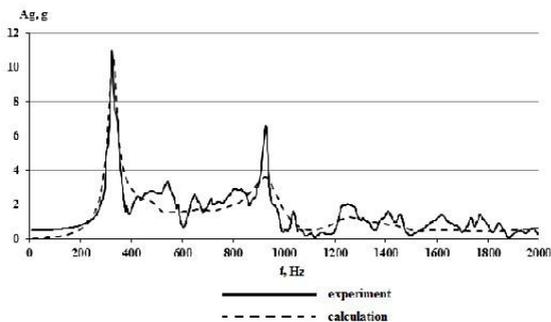


Рисунок 6. Результаты испытаний на гармонические колебания

Заключение

Все вышеперечисленные методы позволяют инженерам создавать прибор КЭ-модель, которая может быть использована на всех стадиях проектирования и разработки. На уровне царпин можно проанализировать механическую надежность различных схем шасси. Затем можно протестировать различные схемы печатных плат, чтобы избежать потенциальных конфликтов функциональной и механической надежности

Использование КЭ-шаблонов позволяет вносить необходимые изменения в основную топ-модель с минимальными временными и трудовыми затратами. Компонентные КЭ-шаблоны могут быть использованы

для механического анализа других электронных устройств и не нуждаются в повторной сборке.

Наконец, КЭ-модель прибора может быть использована в обоих направлениях:

а) определить оптимальные места установки аппаратуры наблюдения испытательного оборудования (до проверки и регулировки модели);

б) предсказать поведение устройства в условиях нагрузки, которые не могут быть заданы испытательным оборудованием (после проверки и регулировки модели).

Список литературы:

1. Голушко Д.А. [metodika-indikatsii-rezonansnyh-chastot-elektronnyh-sredstv.pdf](#).
2. Corporation PT, Geisberg SP, Corporation SPGC, States U, States U, Geisberg SP. Chapter 16 Parametric Technology. 2008;(May 1985):1–48.
3. Al-Araji ZH, Turetsky AV, Muratov A V., МАКАРОВ О.Ю. Modelling of mechanical characteristics multilayered printed-circuit boards in PRO/ENGINEER. Радиотехника. 2014;(3):101–2.
4. Steinberg DS. VIBRATION ANALYSIS FOR ELECTRONIC EQUIPMENT. 3rd Editio. 2000.
5. Artyushenko V.M, V.I V. Modeling of probability density function of signal mixture exposed to amplitude distortion and additive noise. Journal Radioengineering [Internet]. 2017;(1):103–10. Available from: <https://elibrary.ru/ytwubd>
6. Вниизф ФР. Методика инженерного анализа конструкций электронных приборов на воздействие механических факторов. :491–4.
7. Al-Araji ZH, Swaikat N, Souikat H, Korneeva VV, Samofalova AS. The New Way of Estimating the PCB's Lifetime of Fatigue using the Principle of Linear Accumulated Damage in Various Boundary Condition. In: The New Way of Estimating the PCB's Lifetime of Fatigue using the Principle of Linear Accumulated Damage in Various Boundary Condition. 2020.

1.4. ЭЛЕКТРОНИКА

ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ

Кокишарова Екатерина Вячеславовна

*студент 2 курса,
Факультет электроинженерия и электротехника,
Лысьвенский филиал федерального государственного
автономного образовательного учреждения
высшего образования "Пермский национальный
исследовательский политехнический университет",
РФ, г. Лысьва*

PROTECTIVE GROUNDING

Ekaterina Koksharova

*2nd year student,
Faculty of electrical engineering
and electrical engineering,
Lysvensky Branch of the Federal State
Autonomous Educational Institution
of Higher Education "Perm National
Research Polytechnic University",
Russia, Lenin*

Аннотация. Защитное заземление – это один из основных принципов безопасности электроустановок, который направлен на предотвращение поражения людей электрическим током в случае аварийных ситуаций. Основные принципы защитного заземления включают в себя надежное соединение всех металлических элементов электроустановок с землей, использование специального заземляющего провода с достаточным сечением, расположение заземляющего устройства на небольшой глубине и тщательную проверку состояния заземляющей системы.

Abstract. Protective grounding is one of the basic safety principles of electrical installations, which is aimed at preventing electric shock to people in case of emergency situations. The basic principles of protective grounding include the reliable connection of all metal elements of electrical installations to the ground, the use of a special grounding wire with a sufficient cross

section, the location of the grounding device at a shallow depth and a thorough check of the condition of the grounding system.

Ключевые слова: защитное заземление.

Key words: protective grounding.

Защитное заземление – это один из основных принципов безопасности электроустановок, который направлен на предотвращение поражения людей электрическим током в случае аварийных ситуаций. Основные принципы защитного заземления включают в себя надежное соединение всех металлических элементов электроустановок с землей, использование специального заземляющего провода с достаточным сечением, расположение заземляющего устройства на небольшой глубине и тщательную проверку состояния заземляющей системы.

Применение принципов защитного заземления позволяет эффективно предотвращать бедственные последствия от возможных аварий в сетях электроснабжения, уменьшая вероятность возникновения пожаров, поражений электрическим током и других несчастных случаев. Кроме того, правильная организация защитного заземления обеспечивает стабильное функционирование оборудования и продлевает срок его службы, что значительно экономит средства на ремонт и замену.

Таким образом, знание и соблюдение принципов защитного заземления является важной задачей для всех специалистов, занимающихся обслуживанием и эксплуатацией электрических установок. Ведь именно от правильной организации заземления зависит безопасность и надежность работы электрооборудования, а следовательно – и жизнь и здоровье людей.

Помимо предотвращения поражения людей электрическим током, защитное заземление также играет ключевую роль в защите от повреждения оборудования. Правильно организованная система заземления помогает предотвратить перенапряжения, короткие замыкания и другие возможные повреждения, которые могут возникнуть в результате искрения или неисправности в электрической сети.

Кроме того, защитное заземление способствует сохранению стабильности работы электрооборудования. При наличии надежного заземления уменьшается вероятность сбоев в работе оборудования, что позволяет избежать потерь производственной мощности, дополнительных затрат на ремонт и повышает общую эффективность системы.

Необходимо также отметить, что правильное заземление является требованием законодательства в области электробезопасности. Нарушение этих правил может повлечь за собой серьезные материальные и

юридические последствия для предприятия, обслуживающего электрооборудование, а также угрозу для жизни и здоровья сотрудников и окружающих.

Таким образом, защитное заземление является неотъемлемой частью безопасности и надежности работы электрических установок. Его правильная организация не только обеспечивает защиту от поражения электрическим током, но и предотвращает повреждение оборудования, обеспечивает стабильную работу системы и соответствие законодательным требованиям.

Защитное заземление также играет важную роль в защите от пожаров, вызванных электрическими разрядами. Правильно организованная система заземления помогает предотвратить возгорание из-за перегрева проводов или оборудования. Это особенно важно для предприятий и организаций, где большое количество электрооборудования используется ежедневно, так как пожар может привести к серьезным материальным и человеческим потерям.

Дополнительно, защитное заземление способствует увеличению срока службы электрооборудования. Избегая повреждений и износа, обусловленных неправильной работой электрической системы, защитное заземление помогает продлить срок эксплуатации оборудования, что в свою очередь снижает расходы на его замену и обслуживание.

Важно отметить, что регулярная проверка и техническое обслуживание системы заземления необходимы для ее эффективной работы. Отсутствие таких мер может привести к нарушению защитных свойств заземления и повысить риск возникновения аварийных ситуаций. Поэтому только компетентные специалисты должны заниматься проектированием, установкой и техническим обслуживанием системы защитного заземления, чтобы обеспечить безопасность и надежность работы электрического оборудования.

Помимо защиты от пожаров, защитное заземление также играет ключевую роль в обеспечении безопасности персонала, работающего с электрооборудованием. Правильно спроектированная и установленная система заземления помогает предотвратить электрические удары и травмы, связанные с неправильным использованием или неисправностью оборудования. Это особенно важно на производствах и в промышленных объектах, где электрические установки могут представлять серьезную опасность для человеческой жизни.

Дополнительным преимуществом правильно функционирующей системы заземления является обеспечение эффективной работы всех электронных устройств, подключенных к электрической сети. Правильное заземление помогает избежать перенапряжений и помех в

электросети, которые могут привести к выходу из строя дорогостоящего оборудования и систем компании. Это способствует увеличению производительности и надежности работы технических средств, что является важным аспектом для любого предприятия.

Кроме того, правильно организованное защитное заземление способствует соблюдению всех нормативных требований и стандартов безопасности в области электробезопасности. Это помогает организации не только избежать штрафов и санкций со стороны контролирующих органов, но и поддерживать свою репутацию как надежного и ответственного работодателя. Таким образом, система защитного заземления несет важное социальное значение, обеспечивая безопасность и комфорт как для персонала, так и для окружающих.

Помимо этого, правильное заземление также способствует сохранению оборудования и инфраструктуры компании. Перенапряжения и импульсы сети могут вызывать преждевременный износ и повреждения оборудования, что в свою очередь приводит к частым ремонтам и заменам. Система заземления помогает защитить технические средства от подобных негативных воздействий, продлевая их срок службы и снижая расходы на обслуживание.

Кроме того, защитное заземление имеет значение и для защиты окружающей среды. Неправильно функционирующие электрические установки могут быть источником выбросов вредных веществ или привести к загрязнению почвы и воды. Правильно спроектированная система заземления помогает избежать подобных экологических проблем, способствуя устойчивому и безопасному взаимодействию предприятия с окружающей средой.

Наконец, в современных условиях с развитием цифровых технологий и автоматизации производства, защитное заземление становится неотъемлемой частью работы любой компании. Электронные системы и оборудование требуют надежной и стабильной электроподдержки, которую обеспечивает правильно организованная система заземления. Поэтому вложение в защитное заземление не только является важной мерой безопасности, но и стратегическим шагом в обеспечении стабильной работы предприятия в условиях современного рынка и технического прогресса.

Список литературы:

1. Безопасная эксплуатация электроустановок: справ. пособие / под общ. ред. Е.Н. Татарова. – Н. Новгород: Вента-2, 1999. – 160 с.
2. ГОСТ 12.1.030-81 Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

3. ГОСТ Р МЭК 61140-2000. Защита от поражения электрическим током. Общие положения по безопасности, обеспечиваемой электрооборудованием и электроустановками в их взаимосвязи.
4. ГОСТ Р МЭК 60050-2005. Заземление и защита от поражения электрическим током. Термины и определения.
5. Долин, П.А. Электробезопасность. Задачник: учеб. пособие / П.А. Долин, В.Т. Медведев, В.В. Корочков. – М.: Гардарики, 2003. – 213 с.
6. Защитное заземление и защитное зануление электроустановок: справочник / В.Д. Маньков, С.Ф. Заграничный. – М.: Политехника, 2006. – 440 с.
7. Иванов, Е.А. Безопасность электроустановок и систем автоматики: учеб. пособие для студентов / Е.А. Иванов, В.Л. Галка, К.Р. Малаян. – СПб.: ЭЛМОР, 2003. – 381 с.
8. Охрана труда: Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок: ПОТ РМ 016-2001, РД 153-34.0-03.150-00: правила вводятся в действие с 1 июля 2001 г. – М.: Инфра-М, 2005. – 152 с.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

РАЗДЕЛ 2.

ФИЗИКА

2.1. ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

РАСПАД ПРИМЕСНЫХ СКОПЛЕНИЙ СО В SI ПОД ВЛИЯНИЕМ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Зайнабидинов Сирожиддин Зайнабидинович

*д-р физ.-мат. наук, академик,
Андижанский государственный университет,
Узбекистан, г. Андижан*

Тургунов Нозимжон Абдуманнопович

*д-р физ.-мат. наук, доцент,
Научно-исследовательский институт
физики полупроводников и микроэлектроники
при Национальном университете Узбекистана,
Узбекистан, г. Ташкент*

Акбаров Шухратжон Косимович

*старший преподаватель,
Андижанский государственный университет,
Узбекистан, г. Андижан*

Изучение влияния радиационного облучения на свойства компенсированного полупроводникового кремния обычно преследует следующие цели: определение радиационной стойкости параметров исследуемых материалов, а также механизмов взаимодействия и миграции примесных атомов со структурными и радиационными дефектами

кристаллической решетки. Несмотря на многочисленные исследования, посвящённых определению механизмов взаимодействия радиационных дефектов с атомами легирующих примесей [1-4], особенно с глубокими уровнями, по данному направлению до сих пор имеются различные точки зрения, которые иногда отрицают друг друга. В связи с этим, в данной работе приведены результаты исследований влияния нейтронного облучения электрофизические свойства образцов кремния, легированных никелем и кобальтом, полученные с помощью методов электронно-зондовой микроскопии и эффекта Холла. Изучены структурные состояния примесных скоплений кобальта в кремнии до и после облучения.

Результаты исследований состояний примесных скоплений были получены методом электронно-зондовой микроскопии, а электрические параметры образцов измерялись с помощью эффекта Холла. Исследования осуществляли на модельных образцах Si<Co> n- и p-типа до и после нейтронного облучения. Проведенный электронно-микроскопический анализ фазовых превращений примесных скоплений позволил идентифицировать последовательность процессов их распада, а также выявить кинетику данного процесса. В качестве исходного образца использовали кремний марки КЭФ с удельным сопротивлением $\rho=40$ Ом·см. Образцы, с различной степенью компенсации, были получены путем выбора температуры и времени диффузионного отжига. После диффузионного отжига образцы охлаждались со скоростью $v_{\text{охл}}=200$ град/с. Нейтронное облучение образцов проводилось в интервале $\Phi=10^{13} \div 5 \cdot 10^{17}$ н/см². После каждого этапа облучения исследовались основные электрофизические параметры образцов.

Результаты исследований по определению влияния нейтронного облучения на удельное сопротивление образцов Si<Co> n- и p- типа показали, что примесные атомы существенно влияют на процессы радиационного дефектообразования в кремнии. Полученные результаты зависимости ρ/ρ_0 от интегральной дозы облучения в образцах n-Si<Co> показали, при дозах облучения в интервале $10^{13} \div 2 \cdot 10^{15}$ н/см² наблюдается незначительный рост, которое составляет ~5% (рис. 1). В образцах p-Si<Co>, при таком же интервале дозы облучения рост в значении ρ составляет ~33% (рис. 1). При дозах облучения в интервале $\Phi=2 \cdot 10^{15} \div 5 \cdot 10^{16}$ н/см², наблюдается характерный рост для образцов Si<Co> как для n-типа, так и для p-типа. В данном интервале дозы облучения удельное сопротивление образцов увеличивается приблизительно на 2 порядка (рис. 1). Дальнейшее увеличение дозы облучения приводит к незначительному росту значения ρ/ρ_0 образцов.

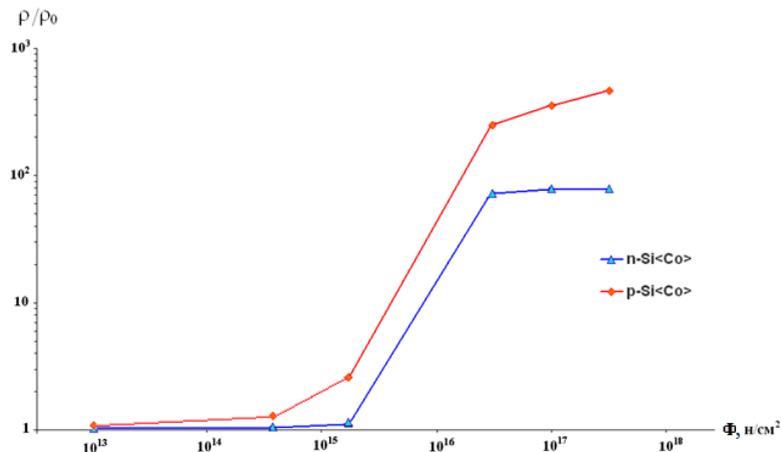


Рисунок 1. Зависимость ρ/ρ_0 от интегральной дозы облучения в образцах n-Si<Co> и p-Si<Co>.

Проведенные структурные анализы с образцами p-Si<Co> показали, что до облучения в их объеме наблюдаются примесные скопления с размерами до 0,7 мкм (рис. 2 (а)). В начальных стадиях облучения скопления примесных атомов являются стабильными. При значениях дозы облучений $\Phi > 5 \cdot 10^{16}$ н/см² наблюдается заметные изменения плотности и формы примесных скоплений, т.е. под влиянием нейтронного облучения, в определенных ее дозах происходит распад примесных скоплений кобальта. Выявлено, что этот процесс имеет поэтапный характер, т.е. последовательность процессов распада скоплений происходит в зависимости от их размеров и формы. Первоначально к распаду подвергаются относительно мелкие скопления (<0,4 мкм), которые имеют иглообразные, пластинчатые и дискообразные формы. Далее с увеличением дозы облучения происходит распад мелких скоплений, с линзообразными и сферическими формами (рис. 5 (b)). Относительно крупные скопления (>0,5 мкм) со сферической формой являются более устойчивыми к облучению.

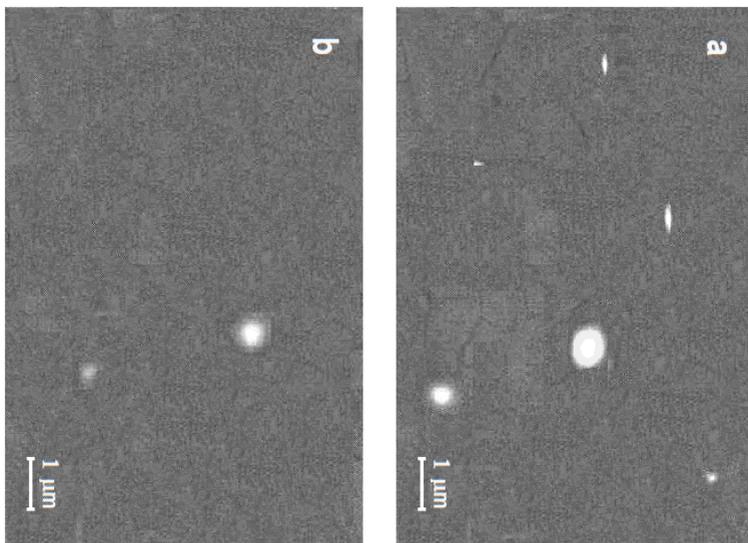


Рисунок 2. Снимки примесных скоплений кобальта в кремнии до (а) и после (б) влияния нейтронного облучения при $\Phi=5 \cdot 10^{16}$ н/см²

Исследование температурных зависимостей электропроводности $\sigma(T)$ и постоянной Холла $R(T)$ исходных и компенсированных образцов $\text{Si}\langle\text{Co}\rangle$ показали, что после облучения в них наблюдается появление дополнительного энергетического уровня $E_c-0,57$ эВ. Предполагается, что появление данного уровня связано с образованием новых электрически активных комплексов примесных атомов кобальта с радиационными дефектами.

На основе полученных экспериментальных данных выявлено, что при облучении в изменении электрических свойств образцов кремния, легированного кобальтом основную роль играют взаимодействия радиационных дефектов с атомами легирующей примеси, находящихся до этого в электрически нейтральных состояниях, в виде различных примесных скоплений. В процессе облучения образцов $\text{Si}\langle\text{Co}\rangle$, при определенных дозах облучения происходит распад примесных скоплений. В результате атомы примеси кобальта переходят в электроактивное состояние и активно взаимодействуют с радиационными дефектами.

Список литературы:

1. Богатов Н.М., Григорьян Л.Р., Коваленко А.И., Коваленко М.С., Колоколов Ф.А., Лунин Л.С. Влияние радиационных дефектов, созданных низкоэнергетическими протонами при температуре 83 К, на характеристики кремниевых фотоэлектрических структур // ФТП. 2020. Том 54. Вып. 2. с. 144–148.
2. Абасов Ф.П., Наджафов Б.А. Влияние гамма-облучения на электрофизические и фотоэлектрические параметры двухбарьерной структуры на основе кремния // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. №10-3. с. 454-456.
3. Матяш И.Е., Минайлова И.А., Сердега Б.К., Хируненко Л.И. Остаточные напряжения в кремнии и их эволюция при температурной обработке и облучении // ФТП, 2017. Вып. 9. с. 1155-1160.
4. Варенцов М.Д., Гайдар Г.П., Долголенко А.П., Литовченко П.Г. Влияние облучения и отжига на термическую стабильность радиационных дефектов в кремнии // Журн: Вопросы атомной науки и техники. Сер: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. 2010. №5. с. 27-35.

**НАУЧНЫЙ ФОРУМ:
ТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Сборник статей по материалам LXXV международной
научно-практической конференции*

№ 7 (75)
Июль 2024 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 04.07.24. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 2,375. Тираж 550 экз.

Издательство «МЦНО»
123098, г. Москва, ул. Маршала Василевского, дом 5, корпус 1, к. 74
E-mail: tech@nauchforum.ru

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета в типографии «Allprint»
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 1



**НАУЧНЫЙ
ФОРУМ**
nauchforum.ru