

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТОЙКИХ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

Д.А. Горбач¹, В.К. Зольников¹, С.А. Сазонова¹, С.А. Яковлев¹, В.А. Фиронов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье выполнен анализ низко-интенсивных излучений и эффекты радиационного оздействия в микросхемах. Рассматриваются внешние воздействующие факторы космического пространства. Результаты воздействия тяжелых заряженных частиц отображены графически. Выполнено моделирование неисправностей СБИС при воздействии низко-интенсивного излучения. Приведены графики деградации параметров транзистора и деградации подвижностей.

Ключевые слова: электронная компонентная база, автоматизированное проектирование, низко-интенсивное излучение, микросхемы, радиационной стойкости электронных систем.

COMPUTER-AIDED DESIGN OF RADIATION-RESISTANT ELECTRONIC COMPONENT BASE PRODUCTS

D.A. Gorbach¹, V.K. Zolnikov¹, S.A. Sazonova¹, S.A. Yakovlev¹, V.A. Fironov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article analyzes low-intensity radiation and the effects of radiation exposure in microcircuits. The external influencing factors of outer space are considered. The results of exposure to heavy charged particles are displayed graphically. VLSI malfunctions have been simulated when exposed to low-intensity radiation. Graphs of degradation of transistor parameters and degradation of mobility are presented.

Key words: electronic component base, computer-aided design, low-intensity radiation, microcircuits, radiation resistance of electronic systems.

Разрозненные высокоэнергетические ядерные частицы влияют на аккумуляцию дозы ионизирующего излучения (ИИ), которое вызывает единичные сбои и параметрические отказы полупроводниковых приборов (ПП) и интегральных схем (ИС).

Космические аппараты снабжают связь и создают условия для навигации и в продолжительных полетах за пределы орбиты Земли в космос, поэтому для них существенно важно сопротивляться продолжительному воздействию низкоинтенсивного ионизирующего излучения.

Электризация диэлектрических защитных и термоизолирующих покрытий получается вследствие воздействия космической плазмы. Непринужденный отказ или сбой в работе прибора получается из-за накопления напряженного заряда, что приводит к внутреннему местному электростатическому выходу из строя. При выходе из строя возникает электромагнитное поле, которое вызывает вероятные побочные эффекты.

Невесомость, характеризующаяся невозможностью конвекции тепла, снижает качество теплового режима работы радиотехнических и электронных аппаратов (РЭА).

Невозможность использования земельной шины (наличие замкнутости пространства) приводит к колебательному процессу общего потенциала, протекание же статистических токов по поверхности космического аппарата (КА) – причина дополнительных помех.

Паническое слово «радиация» создавало броуновское движение человеческих масс на многих континентах. Ее воздействие на живые организмы на Земле трудно поддается прогнозам. Не менее пагубное влияние оказывается и на приборы различной модификации, исполнения и применения. Диэлектрические составляющие микросхем, испытывающие разрушительные влияния радиации теряют возможность воспроизводства параметров микроэлектроники. Анализ теоретических и экспериментальных исследований при проектировании радиационно-стойких микросхем – более сложен и требует более углубленного подхода в данном направлении.

Многочисленные непредсказуемые трудности, которые преподносят хрупкому человеческому мирозданию ближний и дальний космос, невозможно перечислить и просчитать. Применяя всевозможные прикладные науки, изыскивают возможности вариативности состояния приборов в микроэлектронике. Анализ теоретических исследований позволяет предусмотреть и повысить сбоеустойчи-

вость оборудования, используемого в освоении космического пространства, позволяет рассмотреть задачи изучения воздействия на бортовую аппаратуру ионизирующего излучения космического пространства.

В результате процесса накопления в диэлектрических структурах радиационного индуцированного заряда (радиационные поверхностные эффекты) происходит изменение и в какой-то степени ухудшение электрических и рабочих величин. Эти зависимости являются основными радиационными эффектами КМОП и БИС. Сложившаяся ситуация требует существенных исследований в радиационной стойкости электронных систем. На рисунке 1 изображен график, отображающий результаты воздействия тяжелых заряженных частиц.

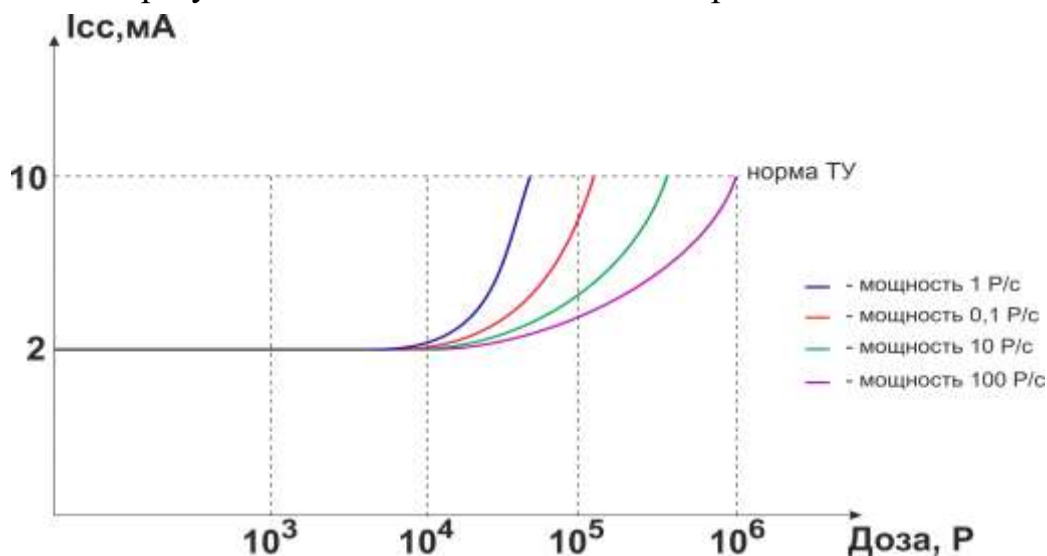


Рисунок 1 – Результаты воздействия тяжелых заряженных частиц

Расчет изменений схематических параметров в результате воздействия низкоинтенсивного излучения производят с учетом временного отжига дефектов. Зависимость этого излучения будет различной при разных соотношениях временных и «истинных» эффектов.

Развитие космонавтики способствует появлению и становлению новых передовых отраслей науки. Прогресс человечества невозможен без постоянной эволюции жизнедеятельности новаторских поисков, научных достижений. Инновационный подход дальнейшего изучения космоса заставил соединить в крайне малых объемах – микросхема, приборы микроэлектроники различных принципов с точки зрения физики.

Моделирование неисправностей СБИС под действием низко-интенсивного излучения осуществляется по следующему алгоритму (рисунок 2).

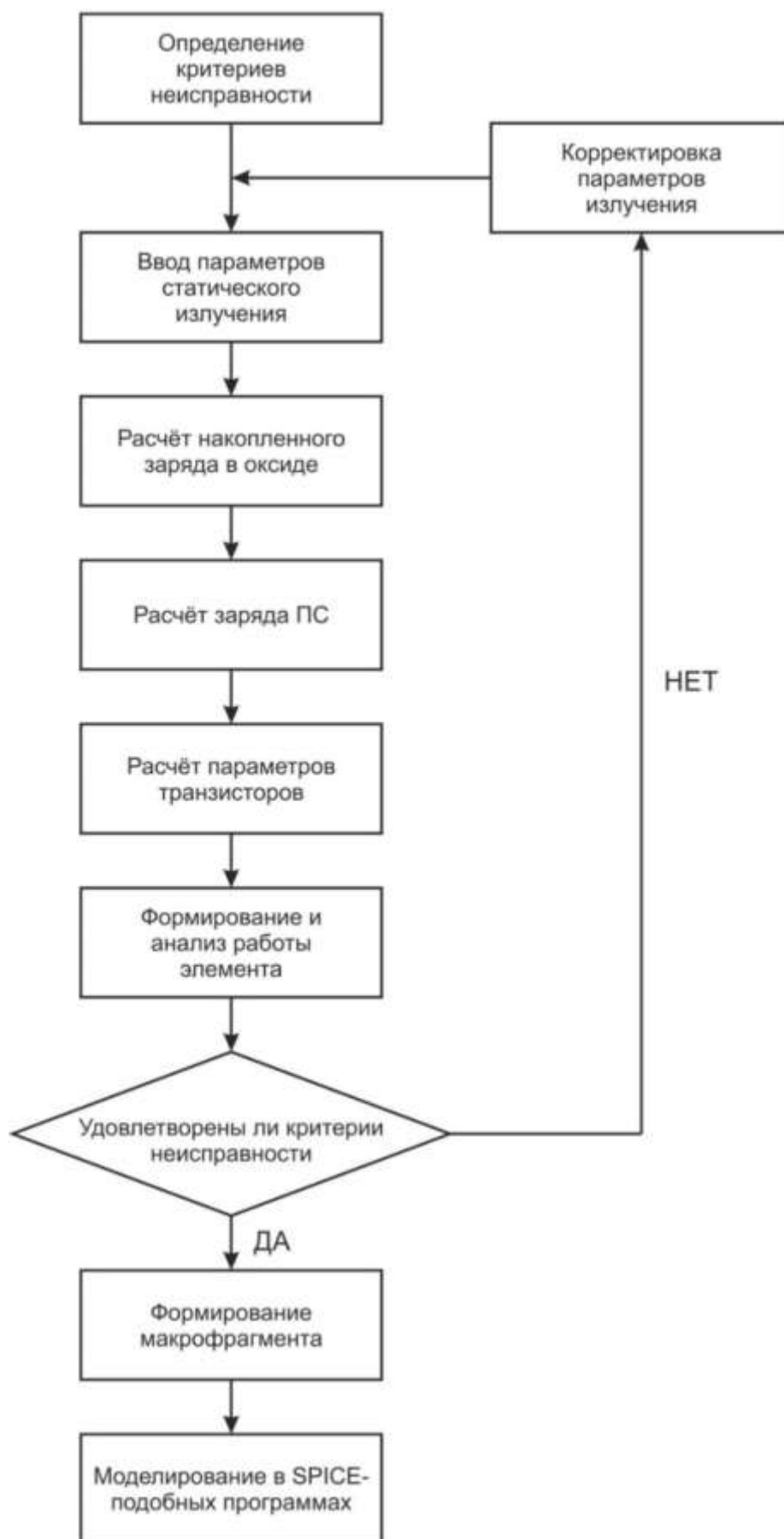


Рисунок 2 – Моделирование неисправностей СБИС при воздействии низко-интенсивного излучения

Под воздействием низко-интенсивного излучения происходит деградация параметров транзистора (рисунки 3 и 4), изменяются подвижность носителей заряда и пороговое напряжение. При разработке данной работы использовались материалы исследований [1-18].

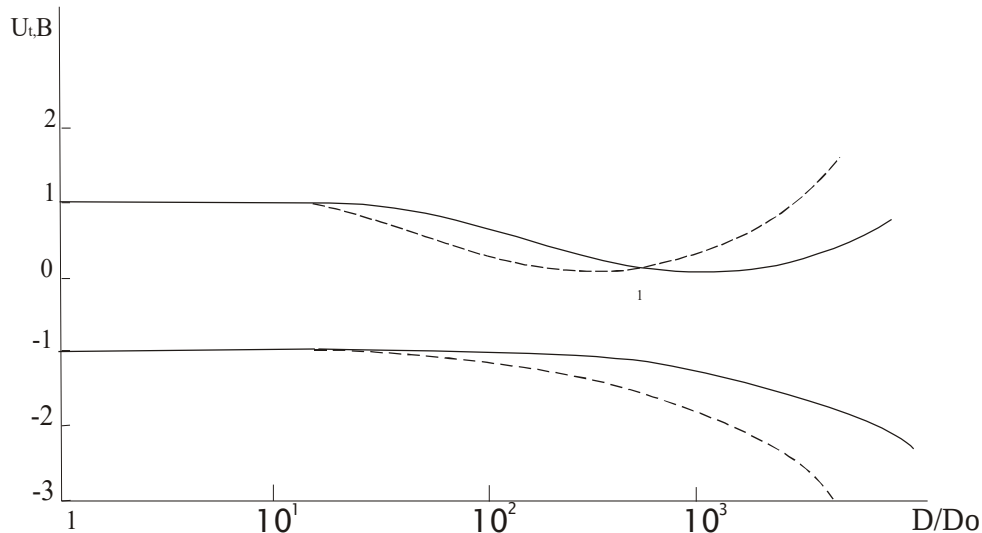


Рисунок 3 – Деградация параметров транзистора

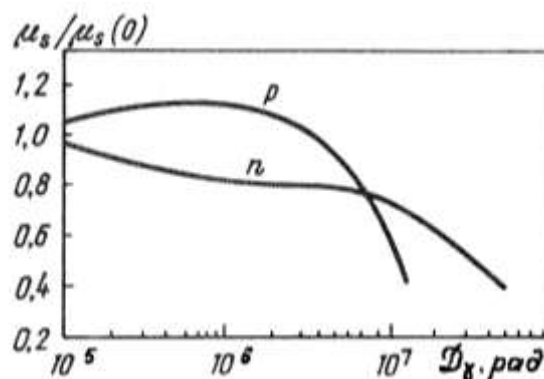


Рисунок 4 – Деградация подвижностей

Список литературы

1. Компьютерное моделирование работоспособности электрической схемы в системах автоматизации проектирования / В. К. Зольников, С. В. Стоянов, Е. В. Шмаков, Н. Н. Литвинов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 26-36. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-24-34. – EDN EJJKJP.
2. Епифанов, Е. Н. Системный анализ акустических свойств речевых оповещателей / Е. Н. Епифанов, В. Ф. Асминин, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 42-53. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53. – EDN BMZBYL.

3. Создание средств проверки электрической схемы с использованием схемы тестовых внешних воздействий / К. В. Зольников, Д. В. Шеховцов, К. В. Литвинов, М. А. Солодилов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 36-44. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-34-42. – EDN EAGOOO.

4. Формализация верификации топологии и электрической схемы для систем автоматизированного проектирования / Т. В. Скворцова, К. В. Зольников, А. М. Плотников, И. В. Скоркин // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 61-70. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-59-68. – EDN DUYQNH.

5. Зольников, К. В. Моделирование и оптимизация конструкции полосового фильтра на основе коаксиального резонатора / К. В. Зольников, Д. А. Ачкасов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 43-50. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-43-50. – EDN POHLTW.

6. Николенко, С. Д. Моделирование возникновения внутренних напряжений в сложной структуре материала / С. Д. Николенко, С. П. Козодаев, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 50-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61. – EDN DIXFHX.

7. Алгоритм диагностики утечек целевого продукта в условиях неопределенности для гидравлической системы / С. А. Сазонова, А. Н. Кошель, И. Н. Пантелеев [и др.] // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 71-82. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82. – EDN HDRQPC.

8. Повышение формализации задач верификации топологии и электрической схемы для систем автоматизированного проектирования / А. В. Полуэктов, К. В. Зольников, А. В. Ачкасов, Ю. А. Чевычелов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 102-111. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-102-111. – EDN QIKKRO.

9. Сазонова, С. А. Моделирование процесса диагностики утечек на основе двухальтернативной гипотезы с учетом помех от стохастичности потребления в гидравлической системе / С. А. Сазонова, И. В. Щербакова, Г. И. Сметанкина // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 111-120. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120. – EDN CSKRIZ.

10. Полуэктов, А. В. Моделирование влияния электромагнитных полей на микросхемы / А. В. Полуэктов, Р. Ю. Медведев, К. В. Зольников // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 129-136. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-129-136. – EDN HWPUXU.

11. Полуэктов, А. В. Моделирование ослабления ионизирующего излучения за счет защитного корпуса микросхем / А. В. Полуэктов, Р. Ю. Медведев, А.

И. Заревич // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 93-100. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-93-100. – EDN QQRQXE.

12. Diagnostics of leaks with unknown amplitudes against the background of interference caused by accidental consumption in the hydraulic system for the forest complex / S. Sazonova, K. Zolnikov, T. Skvortsova [et al.] // BIO Web of Conferences. – 2024. – Т. 145. – С. 04016. – DOI: 10.1051/bioconf/202414504016. – EDN: SQXQKY.

13. Асминин, В.Ф. Экспериментальные исследования вибровозбужденных тонкостенных элементов конструкций станков дискретными вибродемпфирующими вставками / В.Ф. Асминин, С.А. Сазонова, А.С. Самофалова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 3. – С. 525-529. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-3-525-526. – EDN: CBJRSA.

14. Николенко, С.Д. Улучшение качества материала промышленных полов для повышения ударной стойкости при воздействии машиностроительного оборудования / С.Д. Николенко, С.А. Сазонова, В.Ф. Асминин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 3. – С. 495-498. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-3-495-496. – EDN: SBVFRO.

15. Перцев, В.Т. Повышение качества бетона путем применения металлических фибр / В.Т. Перцев, С.Д. Николенко, С.А. Сазонова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 3. – С. 480-484. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-3-480-481. – EDN: TJXBCE.

16. Asminin, V.F. Evaluation of the sound insulation properties of a lightweight panel with an internal diamond-shaped structure based on computer modeling of the process of passage and absorption of sound energy in it / V.F. Asminin, E.V. Druzhinina, S.A. Sazonova // Noise Theory and Practice. – 2024. – Т. 10. – № 1 (36) . – С. 82-96. – EDN: OZLOHG.

17. Samofalova, A.S. Damping of vibration-damping thin-walled steel structures with discrete rubber inserts / A.S. Samofalova, V.F. Asminin, S.A. Sazonova // Noise Theory and Practice. – 2024. – Т. 10. – № 1 (36). – С. 69-81. – EDN: FLGZTH.

References

1. Computer simulation of the operability of an electrical circuit in design automation systems / V. K. Zolnikov, S. V. Stoyanov, E. V. Shmakov, N. N. Litvinov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 26-36. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-24-34. – EDN EJJKJP.

2. Epifanov, E. N. System analysis of acoustic properties of speech annunciators / E. N. Epifanov, V. F. Asminin, S. A. Sazonova // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – pp. 42-53. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-42-53. – EDN BMZBYL.

3. Creation of means of checking an electrical circuit using a circuit of test external influences / K. V. Zolnikov, D. V. Shekhovtsov, K. V. Litvinov, M. A. Solodilov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 36-44. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-34-42. – EDN EAGOOO.

4. Formalization of topology verification and electrical circuit for computer-aided design systems / T. V. Skvortsova, K. V. Solnikov, A.M. Plotnikov, I. V. Skorkin // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – pp. 61-70. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-59-68. – EDN DUYQHJ.

5. Zolnikov, K. V. Modeling and optimization of the design of a polar filter based on a coaxial resonator / K. V. Zolnikov, D. A. Achkasov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – pp. 43-50. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-43-50. – EDN POHLTW.

6. Nikolenko, S. D. Modeling of the occurrence of internal stresses in a complex material structure / S. D. Nikolenko, S. P. Kozodaev, S. A. Sazonova // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – pp. 50-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-50-61. – EDN DIXFHX.

7. The algorithm for diagnosing leaks of the target product in uncertain conditions for the hydraulic system / S. A. Sazonova, A. N. Koshel, I. N. Panteleev [et al.] // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – pp. 71-82. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-71-82. – EDN HDRQPC.

8. Increasing the formalization of topology and electrical circuit verification tasks for computer-aided design systems / A.V. Poluektov, K. V. Zolnikov, A.V. Achkasov, Yu.A. Chevychelov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – pp. 102-111. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-102-111. – EDN QIKKRO.

9. Sazonova, S. A. Modeling of the leak diagnosis process based on a two-alternative hypothesis, taking into account interference from stochastic consumption in the hydraulic system / S. A. Sazonova, I. V. Shcherbakova, G. I. Smetankina // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – pp. 111-120. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-111-120. – EDN CSKRIZ.

10. Poluektov, A.V. Modeling the influence of electromagnetic fields on micro-circuits / A.V. Poluektov, R. Y. Medvedev, K. V. Zolnikov // Modeling of systems and

processes. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – pp. 129-136. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-129-136. – EDN HWPUXU.

11. Poluektov, A.V. Modeling the attenuation of ionizing radiation due to the protective housing of microcircuits / A.V. Poluektov, R. Y. Medvedev, A. I. Zarevich // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – pp. 93-100. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-93-100. – EDN QQRQXE.

12. Diagnostics of leaks with unknown amplitudes against the background of interference caused by accidental consumption in the hydraulic system for the forest complex / S. Sazonova, K. Zolnikov, T. Skvortsova [et al.] // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 145. – p. 04016. – DOI: 10.1051/bioconf/202414504016. – EDN: SQXQKY.

13. Asminin, V.F. Experimental studies of vibro-excited thin-walled structural elements of machine tools with discrete vibration damping inserts / V.F. Asminin, S.A. Sazonova, A.S. Samofalova // Extracts from Tula State University. Technical sciences. – 2024. – No. 3. – pp. 525-529. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-3-525-526. – EDN: CBJRSA.

14. Nikolenko, S.D. Improving the quality of the material of industrial floors to increase impact resistance when exposed to machine-building equipment / S.D. Nikolenko, S.A. Sazonova, V.F. Asminin // Proceedings of Tula State University. Technical sciences. – 2024. – No. 3. – pp. 495-498. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-3-495-496. – EDN: SBVFRO.

15. Pertsev, V.T. Improving the quality of concrete by using metallic fibers / V.T. Pertsev, S.D. Nikolenko, S.A. Sazonova // Proceedings of Tula State University. Technical sciences. – 2024. – No. 3. – pp. 480-484. – DOI: 10.24412/2071-6168-2024-3-480-481. – EDN: TJXBCE.

16. Asminin, V.F. Evaluation of the sound insulation properties of a light-weight panel with an internal diamond-shaped structure based on computer modeling of the process of passage and absorption of sound energy in it / V.F. Asminin, E.V. Druzhinina, S.A. Sazonova // Noise Theory and Practice. – 2024. – T. 10. – № 1 (36). – Pp. 82-96. – EDN: OZLOHG.

17. Samofalova, A.S. Damping of vibration-damping thin-walled steel structures with discrete rubber inserts / A.S. Samofalova, V.F. Asminin, S.A. Sazonova // Noise Theory and Practice. – 2024. – Vol. 10. – № 1 (36). – Pp. 69-81. – EDN: FLGZTH.