

УДК 621.372

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АССИСТЕНТ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭКРАНОВ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

Л. А. Зинченко¹ [0000-0002-2298-8721], А. М. Чернецов² [0000-0001-7655-2395],

В. В. Казаков³ [0000-0003-1571-0104], Е. С. Поляков⁴ [0009-0007-8136-383X],

Е. Н. Комкова⁵ [0009-0003-9776-2094], В. М. Киселева⁶ [0009-0002-6591-6186]

^{1, 3-6}Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,
г. Москва, Россия

²Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Россия

³ООО БКС «Финтех», г. Москва, Россия

¹lyudmillaa@mail.ru, ²chernetsovam@mpei.ru, ³kazakov.vadim.2012@yandex.ru,

⁴polyakoves@student.bmstu.ru, ⁵komkovaen@student.bmstu.ru,

⁶kiselevavm@student.bmstu.ru

Аннотация

Рассмотрена актуальная задача разработки интеллектуального агента для моделирования характеристик экранов защиты электронной аппаратуры, который позволит упростить анализ различных проектных решений и обеспечить поддержку принятия решения инженером-проектировщиком. Разработан интеллектуальный агент, позволяющий автоматизировать процесс подготовки описания альтернативного проектного решения для последующего моделирования с использованием программного пакета Geant4. Интеграция программного модуля в вычислительные платформы даст возможность усовершенствовать работу инженера-проектировщика за счет сокращения рутинных ручных операций, минимизировать человеческие ошибки и гарантировать воспроизводимость результатов.

Ключевые слова: интеллектуальный ассистент, агент, генеративные технологии, автоматизация, радиация, тяжелые заряженные частицы, моделирование, Geant4.

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании изделий, предназначенных для использования в космическом пространстве, необходимо предусмотреть защиту аппаратуры от воздействия космической радиации [1, 2]. Одним из возможных способов является применение экранов радиационной защиты. При их проектировании необходимо моделирование прохождения частиц через материал экрана. Для решения этой задачи используются различные программные пакеты [3–5]. В настоящей работе рассмотрен подход к созданию интеллектуального ассистента, применение которого позволит автоматизировать ручной этап подготовки задания для программного пакета Geant4 [6–8].

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ЗАЩИТЫ АППАРАТУРЫ С ПОМОЩЬЮ ЭКРАНОВ

Для моделирования прохождения частиц через материалы используются различные программные пакеты. Одним из наиболее популярных пакетов является SRIM/TRIM [4, 5]. Эта программа помогает рассчитать траекторию и потери энергии ионов в веществе, а также результирующее воздействие радиации на материал. Инструментарий SRIM/TRIM широко используется в различных областях исследований, таких как изучение радиационной стойкости вещества, медицинская физика и решение прикладных инженерных задач. Он также применяется при проектировании атомных электростанций и расчете аппаратуры для освоения космоса.

В [4–6] SRIM/TRIM использован для моделирования экранов радиационной защиты электронного оборудования. В [5] описан программный модуль для автоматизированного расчета эффективности многослойных экранов для защиты бортового электронного оборудования от воздействия тяжелых заряженных частиц на основе SRIM. Реализована клиент-серверная архитектура с веб-интерфейсом, позволяющая осуществлять распределенные вычисления. Этот модуль автоматизирует генерацию входных файлов для SRIM, выполняет вычисления и обрабатывает результаты. Такой маршрут значительно сокращает трудозатраты на проектирование. Однако инструментарий SRIM имеет ряд недостатков, включая сложность конфигурации для выполнения вычислений, ограниченную визуализацию результатов, а также отсутствие явных данных о средней

глубине проникновения частиц. Кроме того, в программном решении, описанном в [4, 5], нет модуля интеллектуального ассистента, который позволял бы упростить взаимодействие инженера-проектировщика с пакетом SRIM/TRIM.

Наше программное обеспечение использует программный пакет Geant4 [7–10], который поддерживает большее количество библиотек и обеспечивает более корректное моделирование прохождения частиц через вещество. Geant4 позволяет пользователям настраивать компоненты моделирования в соответствии с конкретными задачами.

ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ПОДХОДЫ

Разработанное программное обеспечение предоставляет возможность выбора двух маршрутов проектирования: ручное, без использования интеллектуального ассистента и автоматическую подготовку описания альтернативного проектного решения с использованием интеллектуального ассистента. На рис. 1 представлена схема взаимодействия инженера-проектировщика и интеллектуального ассистента.

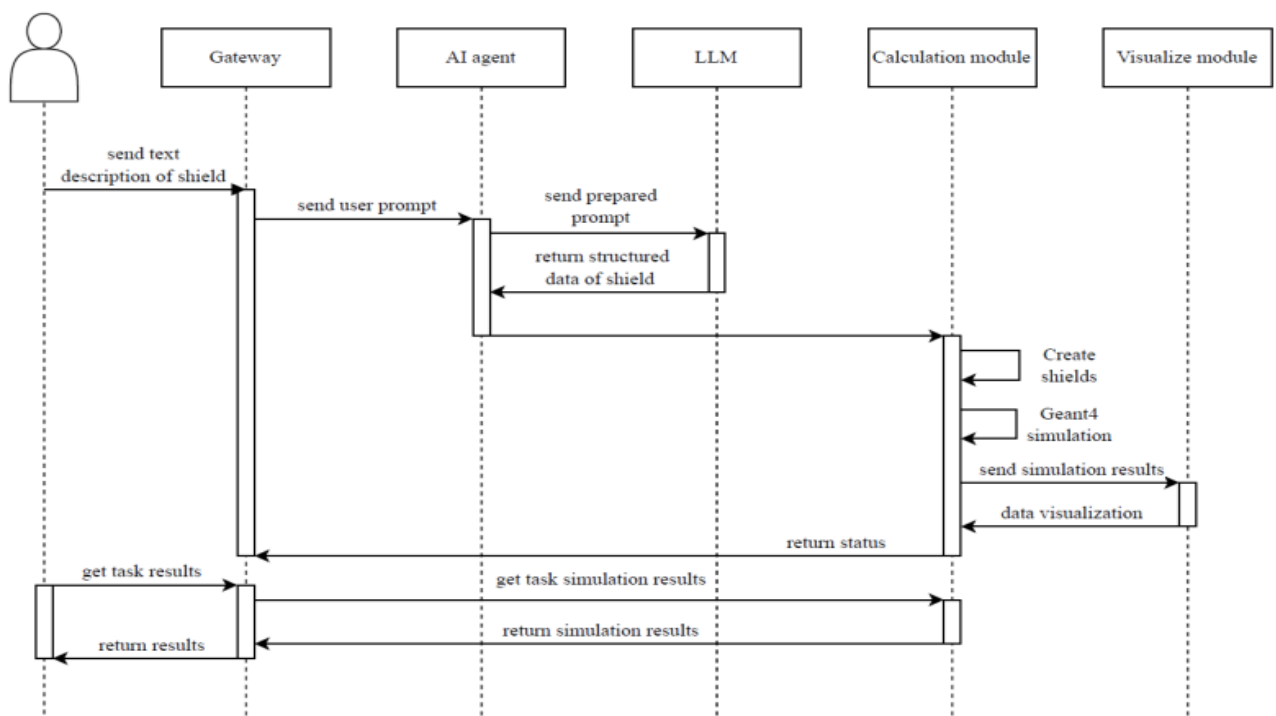


Рис. 1. Диаграмма взаимодействия инженера-проектировщика и интеллектуального ассистента.

В результате этого взаимодействия генерируются промпт и описание альтернативного проектного решения для последующего моделирования с использованием пакета Geant4.

Была использована языковая модель GigaChat [11]. Пользователь на естественном языке описывает задачу, используя инженерную терминологию. Затем агент преобразует задачи проектирования в файл формата JSON на основе запроса пользователя, что значительно сокращает трудозатраты по сравнению с ручным вводом данных.

СРАВНЕНИЕ РАЗРАБОТАННЫХ ПОДХОДОВ

Для проверки работоспособности всех модулей разработанного программного обеспечения были выполнены различные тесты как для ручного маршрута, так и для маршрута с использованием интеллектуального ассистента.

В тесте для ручного маршрута экран состоял из слоев бериллия и алюминия. С ним взаимодействуют несколько типов частиц с разной энергией: ^3He – ядра изотопа гелия–3 с энергией 60 МэВ, протоны с энергией 30 МэВ и электроны с энергией 20 МэВ. В табл. 1 представлены результаты моделирования. Экран задерживает частицы изотопа гелия, но электроны проходят через экран. Наблюдается также вторичное излучение при прохождении электронов. Частицы протонов частично задерживаются.

Табл. 1. Результаты моделирования для ручного маршрута.

Тип частиц	Энергия, МэВ	Материал (толщина, мм)	Общее количество вторичных частиц	Количество остановившихся первичных частиц	Количество остановившихся вторичных частиц
He^3	60	Бериллий (2.7)	0	10	1
		Алюминий (2.0)		0	0
Электрон	20	Бериллий (2.7)	100	0	5
		Алюминий (2.0)		0	3

Протон	30	Бериллий (2.7)	425	0	1
		Алюминий (2.0)		5	0

При использовании интеллектуального ассистента пользователь генерирует описание конфигурации экрана в виде соответствующего запроса. На основе этого запроса ассистент генерирует описание модели. В тесте экран состоял из слоев бериллия и сплава ВТ5Л. В этом тесте было исследовано прохождение частицы изотопа гелия с энергией 60 МэВ.

Во втором тесте пользователь формирует описание конфигурации экрана в виде соответствующего запроса на естественном языке, представленного на рис. 2.

Помоги подготовить информацию для экрана. Помоги составить экран из слоев Ве и ВТ5Л. Первый слой толщиной 1000 мкм, второй 2000 мкм. Найди необходимые данные. Укажи правильные символы элементов, атомный номер, стандартный атомный вес элементов, плотность.

Рис. 2. Пример запроса пользователя описания экрана.

В запросе пользователь перечисляет слои конфигурируемого экрана, а также соответствующие названия материалов и толщины. На основе этого текстового описания агент искусственного интеллекта выполнил автономную генерацию входных данных для моделирования: самостоятельно определил химический состав каждого слоя, подобрал необходимые физические параметры материалов и сформировал структурированную конфигурацию в требуемом формате. В данном тесте сгенерированный агентом экран облучается частицами изотопа гелия-3 с энергией 60 МэВ. Результаты моделирования показаны в табл. 2.

Табл. 2. Результаты моделирования с использованием интеллектуального ассистента.

Тип частиц	Энергия, МэВ	Материал (толщина, мм)	Общее количество вторичных частиц	Количество остановившихся первичных частиц	Количество остановившихся вторичных частиц
He ³	60	Бериллий (1.0)	3	0	3
		Сплав ВТ5Л (2.0)		20	0

На основе полученных данных можно заметить, что частицы останавливаются в слое ВТ5Л, в то время как слой бериллия останавливает вторично генерируемые частицы. Визуализация тестов представлена на рис. 3 (а, б).

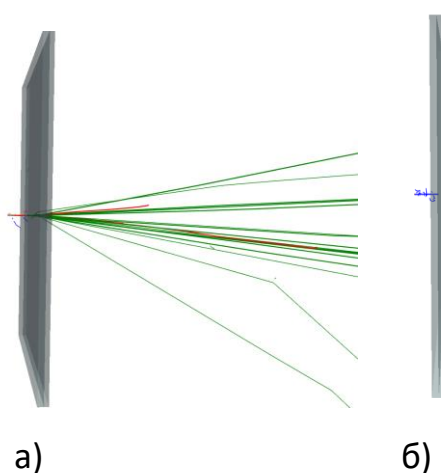


Рис. 3. Визуализация результатов маршрута с использованием: а) ручного маршрута; б) интеллектуального ассистента.

Возможность выбрать предпочтительный вариант (ручное управление или управление с помощью искусственного интеллекта) является существенным преимуществом нашего программного обеспечения благодаря гибкости и адаптивности для пользователей с различными предпочтениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ некоторых из возможных подходов для автоматизации проектирования экранов радиационной защиты. Показано, что для использования сложного специализированного программного обеспечения с целью упрощения его применения возможно использование интеллектуального агента на базе большой языковой модели. Полученные результаты определяют дальнейшие перспективные направления исследований в области применения систем искусственного интеллекта и агентов на их основе в задачах разработки систем автоматизированного проектирования отечественных роботизированных и высокопроизводительных вычислительных систем, в том числе предназначенных для исследования космоса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shakhnov V., Zinchenko L., Kosolapov I., Filippov I.* Modeling and Optimization of Radiation Tolerant Microsystems // EMS'14 Proceedings. 2014. P. 484–489.
2. *Glushko A.A., Morozov S.A., Chistyakov M.G.* Study of the Sensitive Region of a MOS Transistor to the Effects of Secondary Particles Arising from Ionizing Radiation // Microelectronics. 2023. Vol. 52. No. 4. P. 282–289.
3. *Terekhov V.V., Glushko A.A., Makarchuk V.V. et al.* Compact modeling and digital twins of capacitive fractal microsystems: characteristics variations caused by heavy charged particle // REEPE. 2023. P. 1–5.
<https://doi.org/10.1109/REEPE57272.2023.10086770>
4. *Glushko A.A., Zinchenko L.A., Shakhnov V.A.* Simulation of the impact of heavy charged particles on the characteristics of field-effect silicon-on-insulator transistors // Journal of Communications Technology and Electronics. 2015. Vol. 60. P. 1134–1140. <https://doi.org/10.1134/S1064226915070074>
5. *Zinchenko L., Kazakov V., Mironov A. et al.* Software module for automated calculation of parameters of on-board electronic equipment protection screens from radiation exposure // Journal of Software & Systems. 2020. P. 236–242
6. *Shakhnov V.A., Zinchenko L.A., Rezchikova E.V. et al.* Visual Analytics and Its Applications in Electronic Engineering Education: BMSTU Case Study // Proceedings

of VI International Conference on Information Technologies in Engineering Education, Inforino 2022. <https://doi.org/10.1109/Inforino53888.2022.9782907>

7. Allison J., Amako K., Apostolakis J. et al. Recent developments in Geant4. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research // Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2016. Vol. 835. P. 186–225.

8. Allison J., Amako K., Apostolakis J., Araujo H., Arce Dubois P. Geant4 developments and applications // IEEE Transactions on Nuclear Science. 2006. Vol. 53. P. 270–278. <https://doi.org/10.1109/TNS.2006.869826>

9. Agostinelli S., Allison J., Amako K. et al. Geant4 – a simulation toolkit // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2003. V. 506. P. 250–303.

10. Зинченко Л.А., Казаков В.В., Мусеев Р.Р. и др. Программный модуль для автоматизированного проектирования многослойных экранов защиты электронной аппаратуры от воздействия тяжелых заряженных частиц с использованием Geant4 // Известия ЮФУ. Технические науки. 2024.

11. GigaChat: API GigaChat.
URL: <https://developers.sber.ru/docs/ru/gigachat/api/overview> (дата обращения: 09.12.2025).

AI COPILOT FOR DESIGNING RADIATION PROTECTION SHIELD

L. A. Zinchenko¹ [0000-0002-2298-8721], A. M. Chernetsov² [0000-0001-7655-2395],

V. V. Kazakov³ [0000-0003-1571-0104], E. S. Polyakov⁴ [0009-0007-8136-383X],

E. N. Komkova⁵ [0009-0003-9776-2094], V. M. Kiseleva⁶ [0009-0002-6591-6186]

^{1, 3-6}*Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia*

²*Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia*

³*BCS Fintech LLC, Moscow, Russia*

¹lyudmilaaa@mail.ru, ²chernetsovam@mpei.ru, ³kazakov.vadim.2012@yandex.ru,

⁴polyakoves@student.bmstu.ru, ⁵komkovaen@student.bmstu.ru,

⁶kiselevavm@student.bmstu.ru

Abstract

This paper examines the current challenge of developing an intelligent agent for modeling the characteristics of electronic equipment protection shields.

The aim is developing a methodology and software implementation for an intelligent agent that will simplify the analysis of various design solutions and provide decision support for design engineers. An intelligent agent has been developed that automates the process of preparing a description of an alternative design solution for subsequent modeling using the Geant4 software package. Integrating the software module into computing platforms will improve the work of design engineers by reducing routine manual operations, minimizing human error, and ensuring reproducible results.

Keywords: *AI Copilot, agentic AI, generative technologies, automation, radiation, heavy charged particles, modelling, Geant4.*

REFERENCES

1. *Shakhnov V., Zinchenko L., Kosolapov I., Filippov I. Modeling and Optimization of Radiation Tolerant Microsystems // EMS'14 Proceedings. 2014. P. 484–489.*

2. *Glushko A.A., Morozov S.A., Chistyakov M.G. Study of the Sensitive Region of a MOS Transistor to the Effects of Secondary Particles Arising from Ionizing Radiation // Microelectronics. 2023. Vol. 52. No. 4. P. 282–289.*

3. *Terekhov V.V., Glushko A.A., Makarchuk V.V. et al.* Compact modeling and digital twins of capacitive fractal microsystems: characteristics variations caused by heavy charged particle // REEPE 2023. P. 1–5.

<https://doi.org/10.1109/REEPE57272.2023.10086770>

4. *Glushko A.A., Zinchenko L.A., Shakhnov V.A.* Simulation of the impact of heavy charged particles on the characteristics of field-effect silicon-on-insulator transistors // Journal of Communications Technology and Electronics. 2015. Vol. 60. P. 1134–1140. <https://doi.org/10.1134/S1064226915070074>

5. *Zinchenko L., Kazakov V., Mironov A. et al.* Software module for automated calculation of parameters of on-board electronic equipment protection screens from radiation exposure // Journal of Software & Systems. 2020. P. 236–242.

6. *Shakhnov V.A., Zinchenko L.A., Rezhikova E.V. et al.* Visual Analytics and Its Applications in Electronic Engineering Education: BMSTU Case Study // Proceedings of VI International Conference on Information Technologies in Engineering Education, Inforino 2022. <https://doi.org/10.1109/Inforino53888.2022.9782907>

7. *Allison J., Amako K., Apostolakis J. et al.* Recent developments in Geant4. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research // Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2016. Vol. 835. P. 186–225.

8. *Allison J., Amako K., Apostolakis J., Araujo H., Arce Dubois P.* Geant4 developments and applications // IEEE Transactions on Nuclear Science. 2006. Vol. 53. P. 270–278. <https://doi.org/10.1109/TNS.2006.869826>

9. *Agostinelli S., Allison J., Amako K. et al.* Geant4 – a simulation toolkit // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2003. Vol. 506. P. 250–303.

10. *Zinchenko L.A., Kazakov V.V., Moiseev R.R. et al.* Software module for computer-aided design of multilayer screens protecting electronic equipment from the effects of heavy charged particles using Geant4 // Izvestiya SFEDU. Technical Sciences. 2024. P. 100–109.

11. GigaChat: API GigaChat.

URL: <https://developers.sber.ru/docs/ru/gigachat/api/overview>. (date of access: 09.12.2025).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



ЗИНЧЕНКО Людмила Анатольевна – доктор техн. наук, профессор, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана

Lyudmila Anatolyevna ZINCHENKO – Doctor of Technical Sciences, Professor, professor at the Department IU BMSTU

email: lyudmillaa@mail.ru

ORCID: 0000-0002-2298-8721



ЧЕРНЕЦОВ Андрей Михайлович – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры Прикладной математики и искусственного интеллекта Национального исследовательского университета «МЭИ».

Andrey Mikhailovich CHERNETSOV – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; associate professor at the Department of Applied Mathematics and Artificial Intelligence, National Research University "MPEI".

email: chernetsovam@mpei.ru

ORCID: 0000-0001-7655-2395



КАЗАКОВ Вадим Вячеславович – кандидат технических наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана; руководитель направления по искусственному интеллекту ООО БКС «ФИНТЕХ».

Vadim Vyacheslavovich KAZAKOV – Candidate of Technical Sciences, Ass. Professor, BMSTU; head of the Artificial Intelligence department at BCS FINTECH LLC.

email: kazakov.vadim.2012@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-1571-0104



Поляков Евгений Сергеевич – студент, МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Evgeniy Sergeevich Polyakov – student, BMSTU

email: polyakoves@student.bmstu.ru

ORCID: 0009-0007-8136-383X



КИСЕЛЕВА Валентина Михайловна – студент, МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Valentina Mikhailovna KISELEVA –student, BMSTU

email: kiselevavm@student.bmstu.ru

ORCID: 0009-0002-6591-6186



КОМКОВА Елена Николаевна – студент, МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Elena Nikolaevna KOMKOVA – student, BMSTU

email: komkovaen@student.bmstu.ru

ORCID: 0009-0003-9776-2094

Материал поступил в редакцию 14 апреля 2026 года