

# ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНЖЕНЕРНОГО СООРУЖЕНИЯ С МАССИВОМ ГРУНТА

**Марковник Григорий Амиранович**

Аспирант,

Российский университет транспорта, г. Москва

[g.markovnik@mail.ru](mailto:g.markovnik@mail.ru)

## FEATURES OF MODELING THE NONLINEAR INTERACTION OF AN ENGINEERING STRUCTURE WITH AN ARRAY OF SOIL

**G. Markovnik**

*Summary.* The problem of modeling the nonlinear interaction of an engineering structure with an array of soil has become especially relevant with the development of theoretical and practical research in the field of computer modeling, which is based on software with a large amount of processed and stored data. The problems of data security used to model the nonlinear interaction of an engineering structure with an array of soil, in contrast to the proper choice of software, which is directly related to the safety of construction processes, have not been practically studied in the specialized literature.

The article examines the theoretical foundations of the creation of cyber security systems and concludes that at the present stage, ensuring data security in modeling the nonlinear interaction of an engineering structure with an array of soil, as one of the integral stages of construction design, is of key importance, due to its direct impact on safety during construction. The first step towards data cyber security is to understand the specifics of software operation and identify key data and risks. The next step is the development of safety focused on the unique characteristics of a specific software used to simulate the nonlinear interaction of an engineering structure with a soil mass and the unique properties of the engineering structures being designed. After implementing the strategy, the next step will be to implement security controls to protect against known risks.

*Keywords:* modeling of nonlinear interaction, ground foundations, information security, cyber security, engineering structures, infrastructure systems.

*Аннотация.* Проблематика моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта стала особенно актуальна с развитием теоретических и практических исследований в области компьютерного моделирования, основу которого составляет программное обеспечение с большим объемом обрабатываемых и хранимых данных. Проблематика безопасности данных, используемых для моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта, в отличие от надлежащего выбора программного обеспечения, напрямую связана с безопасностью процессов строительства, однако в специализированной литературе данная область практически не исследована.

В статье рассмотрены теоретические основы создания систем кибербезопасности и сделан вывод о том, что на современном этапе общественного развития обеспечение безопасности данных при моделировании нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта, как одного из неотъемлемых этапов строительного проектирования, имеет ключевое значение ввиду прямого влияния на безопасность при строительстве. Первым шагом к кибербезопасности данных должно стать понимание специфики эксплуатации программного обеспечения и определение ключевых данных и рисков. Следующим шагом должна стать разработка безопасности, ориентированной на уникальные характеристики конкретного программного обеспечения, используемого для моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта и уникальные свойства проектируемых инженерных сооружений. После внедрения стратегии следующим шагом будет внедрение средств контроля безопасности для защиты от известных рисков.

*Ключевые слова:* моделирование нелинейного взаимодействия, грунтовые основания, информационная безопасность, кибербезопасность, инженерные сооружения, инфраструктурные системы.

**П**роблематика расчета грунтовых оснований для зданий и сооружений имеет принципиальное значение в условиях развития современной строительной отрасли. Обусловлено это рядом факторов, во-первых, технической сложностью современных инженерных сооружений. Во-вторых, освоением новых пространств для строительства на искусственных грунтах (например, намывные территории в г. Санкт-Петербурге).

Как отмечается в специализированной литературе, проблематика механики грунтов и моделирование взаимодействия инженерных сооружений с грунтом является весьма сложной задачей, поскольку требует

тщательно проработанных моделей с использованием теоретических и практических знаний в области пластичности и механики грунтов [5, 6]. С указанным мнением нельзя не согласиться, так как для моделирования взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта должно учитываться и естественное состояние пород, и нелинейная работа грунта, и недостатки в расчетах и моделях, полученные в процессе строительства конкретных инженерных сооружений.

Так, например, И.В. Нестеров и А.Д. Мерзлякова акцентируют внимание на том, что в современных реалиях моделирование нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта в современных

условиях уже не подходит под известные упрощенные расчетные схемы, основанные на теории упругости, поскольку такие схемы приводят к искажению итогового результата. Гораздо более эффективным видится подход, основанный на использовании программного обеспечения, в основу которого заложены расчетные формулы с учетом физической нелинейности [2].

Такая позиция не лишена основания, поскольку длительное время механические свойства грунта рассчитывались с учетом закона Гука (линейная теория упругости). С развитием науки и техники стало очевидным, что реальные свойства грунтов, помимо упругих свойств, обладают нелинейным свойством (грунты могут быть также вязкими, пластическими и хрупкими). Поэтому одним из основополагающих направлений, ориентированных на повышение качества проектирования инженерных сооружений с учетом состояния грунтов, стало компьютерное моделирование.

Использование в решениях проектных задач моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта с помощью компьютерного моделирования сопряжено с обработкой огромного количества информации [1]. В частности, речь идет о целой взаимосвязанной совокупности уравнений, в которых присутствуют неизвестные переменные. При этом решение нелинейных задач механики грунтов с использованием специальных компьютерных программ сопряжено с проблематикой обработки и хранения информации. Это приводит, с одной стороны, к проблеме выбора наиболее эффективного программного обеспечения. С другой стороны, остро встает проблема безопасности информации, обрабатываемой посредством программного обеспечения.

В контексте настоящего исследования вторая проблема видится особо актуальной, поскольку вопросы использования и адаптации наиболее эффективной программно-аппаратной части для моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта неоднократно исследовались как зарубежными, так и отечественными исследователями.

Так, например, в работе нидерландских ученых Р.Б. Бринкгрива, У. Дж. Броера и Д. Уотермана (2004 г.), рассматривается моделирование нелинейного взаимодействия зданий и инженерных сооружений с массивом грунта посредством программного комплекса PLAXIS, в основу которого заложено моделирование нелинейного, зависящего от времени и анизотропного поведения грунтов с помощью моделей разной степени сложности [10].

В работе Л.А. Строковой, посвященной применению метода конечных элементов в механике грунтов, акцен-

тируется внимание на том, что моделирование нелинейного взаимодействия зданий и инженерных сооружений с массивом грунта достаточно успешно можно производить при использовании таких зарубежных и отечественных программ, как: ANSYS, COSMOS, NASTRAN, ПИОНЕР, ЛИРА, ПАРСЕК, ПАРУС и т.д. [3].

Проблематика безопасности данных, используемых для моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта, в отличие от надлежащего выбора программного обеспечения напрямую связана с безопасностью процессов строительства. При этом данная проблема в специализированной литературе практически не исследована [4, 9].

Повышение кибербезопасности в вопросах проектирования при использовании специального программного обеспечения имеет жизненно важное значение. Однако это не учитывается, на наш взгляд, из-за того, что программное обеспечение, используемое для моделирования, относят к операционным технологиям, абстрагируемым от информационных технологий, используемых компаниями-проектировщиками. При этом исторически сложилось так, что большинство систем операционных технологий, к которым относят прикладное программное обеспечение, были аналоговыми и не поддерживали интернет-протокол [7].

В современных рабочих процессах между информационными технологиями и операционными технологиями существует взаимосвязь и уязвимость в различных системах информационных технологий и операционных технологий, что может привести к необратимым последствиям. Тем не менее, безопасность информационных технологий продолжает фокусироваться на конфиденциальности, целостности и доступности критически важных данных, в то время как безопасность операционных технологий больше связана с защитой от потерь при работе с системами и программами или сохранностью данных [8].

Исходя из этого, необходима выработка подхода для оценки степени уязвимости и идентификации критических компонентов в сложной системе (ориентированной на системы взаимодействия информационных технологий и операционных технологий). В современных сложных системах недостаточно выявлять только отдельные уязвимости и угрозы — необходим комплексный подход учета рисков. Так, если операционные технологии, основанные на программном обеспечении, для моделирования станут мишенью для кибератак, то успешная атака может привести к серьезному материальному ущербу для компании-проектировщика или к гибели людей в случае, если атака не была выявлена, а при строительстве инженерных сооружений были использованы искаженные расчетные данные.

Первым шагом к обеспечению кибербезопасности данных является понимание специфики эксплуатации программного обеспечения и определение ключевых данных и рисков. Следующим шагом является разработка стратегии безопасности, ориентированной на уникальные характеристики конкретного программного обеспечения, используемого для моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта. После внедрения стратегии следующим шагом будет внедрение средств контроля безопасности для защиты от известных рисков.

Одна из проблем при внедрении средств контроля безопасности программного обеспечения, используемого для моделирования, заключается в том, что могут возникнуть противоречия между другими требованиями безопасности и надежности. Например, некоторые средства контроля безопасности могут повлиять на организационные процессы, в том числе на процессы строительства (если компания занимается полным циклом работ, начиная от проектирования и заканчивая строительством), поэтому на организационном уровне необходимо обеспечение взаимодействия между всеми лицами, задействованными в организационных процессах. Так, о сбоях и атаках, связанных с возможным искажением данных, используемых для моделирования, необходимо своевременно сообщать лицам, непосредственно использующим соответствующие данные на строительных площадках.

Кроме того, для правильной оценки рисков и разработки средств контроля необходимо иметь представление об общей архитектуре обрабатываемых для моделирования данных, системных компонентах, а также о том, как они взаимодействуют друг с другом, какие протоколы они используют и какие уязвимости в них существуют.

Также в вопросах кибербезопасности необходимо учитывать аспекты, связанные с определением четких ролей и ответственности за обеспечение кибербезопасности операционных систем, основу которых составляет программное обеспечение для моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта. Здесь основу стратегии составляет четкое представление о том, кто несет ответственность за конкретные задачи в области кибербезопасности и на кого будет возложена ответственность за определение ролей пользователей, обязанностей и надзора за программным обеспечением для моделирования.

Вышеуказанные задачи могут быть возложены на команды операционных технологий по кибербезопасности, которые обладают глубокими знаниями среды и архитектуры программного обеспечения и систем, чтобы должным образом оценивать риски, разрабатывать средства контроля и поддерживать реагирование на инциденты. В отдельных случаях аналогичные задачи могут быть делегированы сотрудникам, отвечающим за общую информационную безопасность технологии в компании.

Ландшафт угроз для операционных технологий и программного обеспечения, составляющего их основу, постоянно меняется по мере обнаружения новых уязвимостей и разработки новых методов атак, что затрудняет обеспечение безопасности данных. При этом, учитывая многообразие программ, используемых для моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта, не может быть разработана одна, универсальная и адаптированная под всех система обеспечения безопасности. Учитывая разницу используемых в программах моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта данных, а также уникальные свойства проектируемых инженерных сооружений, стратегии, обеспечивающие безопасность данных при моделировании нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта, в энергетической отрасли будут отличаться от стратегий, обеспечивающих безопасность данных при моделировании в нефтегазовой отрасли и иных отраслях.

Подводя итог, отметим, что на современном этапе общественного развития обеспечение безопасности данных при моделировании нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта, как одного из неотъемлемых этапов строительного проектирования, имеет ключевое значение ввиду прямого влияния на безопасность при строительстве. Первым шагом на пути к обеспечению кибербезопасности данных является понимание специфики эксплуатации программного обеспечения и определение ключевых данных и рисков. Следующим шагом должна стать разработка безопасности, ориентированной на уникальные характеристики конкретного программного обеспечения, используемого для моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта и уникальные свойства проектируемых инженерных сооружений. После внедрения стратегии следующим шагом будет внедрение средств контроля безопасности для защиты от известных рисков.

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов В.В., Болдырев Ю.Я., Романов С.В., Шанина А.С. Опыт применения математического моделирования грунтовых оснований зданий и сооружений // Информатика, телекоммуникации и управление. 2010. №5 (108). С. 103–109.
2. Нестеров И.В., Мерзлякова А.Д. Особенности моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с грунтом на адаптивных сетках конечных элементов // Сборник трудов 79 Международной научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ: СЕКЦИЯ НАДЕЖНОСТИ И ПРОБЛЕМ КАЧЕСТВА В АВТОТРАНСПОРТНОМ КОМПЛЕКСЕ. Москва, 2021. С. 21–28.
3. Строкова Л.А. Применение метода конечных элементов в механике грунтов. Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2010. 143 с.
4. Стрункина М.С., Воробьева А.В. Разработка системы информационной безопасности для строительной компании // МНИЖ. 2016. №10-2 (52). С.116–118.
5. Тер-Мартirosян А.З., Мирный А.Ю., Соболев Е.С. Особенности определения параметров современных моделей грунта в ходе лабораторных испытаний // Геотехника. 2016. № 1. С. 66–72.
6. Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Расчеты взаимодействия высотного здания и основания с учетом нелинейных свойств конструкционных материалов и грунтов // Жилищное строительство. 2015. №9. С. 30–35.
7. Boyes H., «Security, Privacy, and the Built Environment» in IT Professional, vol. 17, №. 3, pp. 25–31, May–June 2015.
8. Ma, Z., Zhang, D., & Li, J. (2018). A dedicated collaboration platform for Integrated Project Delivery. Automation in Construction, 86, 199-209.
9. Turk, Žiga, Sonkor, M. S., & Klinc, R. (2022). Cybersecurity assessment of BIM/CDE design environment using cyber assessment framework. Journal of Civil Engineering and Management, 28(5), 349–364.
10. Brinkgreve, R.B.J., Broere, W., Waterman, D. 2008. Plaxis 2D-version 9. Finite Element Code for Soil and Rock Analyses. User Manual, Rotterdam: Balkema. URL: [https://www.researchgate.net/publication/262012153\\_Plaxis\\_2D\\_-\\_Version\\_8](https://www.researchgate.net/publication/262012153_Plaxis_2D_-_Version_8)

---

© Марковник Григорий Амиранович (g.markovnik@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»