

технологии. 2015. № 2 (10). С. 126–131.

22. Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоданные как системный информационный ресурс // Вестник Российской академии наук. 2014. Т. 84. № 9. С. 826–829.

23. Tsvetkov V.Ya. Information Constructions // European Journal of Technology and Design. 2014. Vol. 5. Is. 3. P. 147–152.

24. Цветков В.Я. Когнитивная кластеризация // Славянский форум. 2016. № 1 (11). С. 233–240.

25. Бродский Б.Е. Информационная теория индивидуального выбора. – М.: Ситуационный центр ЦЭМИ РАН, 2008.

26. Диев В.С. Критерии выбора альтернатив: рациональные модели и реальные решения // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Философия. 2012. Т. 10. Вып. 1. С. 5–12.

27. Култыгин В.П. Теория рационального выбора – возникновение и современное состояние // Социологические исследования. 2004. № 1. С. 27–36.

28. Бескоровайный А.В. Компараторная идентификация векторов предпочтений в моделях многокритериального выбора // Проблемы бионики. 1999. № 50. С. 162–168.

29. Tsvetkov V.Ya. Not Transitive Method Preferences // Journal of International Network Center for Fundamental and Applied Research. 2015. Vol. 3. Is. 1. P. 34–42. DOI: 10.13187/jincfar.2015.3.34.

30. Макино Т., Охаси М., Докэ Х., Макино К. Контроль качества с помощью персональных компьютеров. – М.: Машиностроение, 1991.

Application of preferences for decision support the applied geoinformatics

Pavel Dmitrievich Kuzhelev, Ph.D., associate professor, Moscow State University of Railway Engineering

This article describes the application of methods of preferences that are used in support of decision-making in applied geoinformatics. The article reveals the content of relations and correspondences. content preferences disclosed. This article describes the operators used in preference theory. This article describes the features of the application of the theory of preferences based on spatial information. This article describes the conditions for the integration of spatial data. This article describes the scalar and vector comparison methods in the evaluation of preference.

Keywords: applied geoinformatics, spatial information, decision support, relation correspondence preferences, models, information construction.

УДК 528.2/5 528.8 528.02

ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Андрей Олегович Куприянов, канд. техн. наук, проф.,

зав. кафедрой прикладной геодезии,

e-mail: miigaiknir@yandex.ru,

Московский государственный университет геодезии и картографии,

<http://www.miigaik.ru>

Статья анализирует применение цифрового моделирования железнодорожного пути. Показана основа цифрового моделирования – дискретная модель, предназначенная для компьютерной обработки. Показано, что верхнее строение пути описывается одним типом цифровых моделей, а нижнее строение пути описывается другим типом цифровых моделей. Раскрыто содержание комплексного мониторинга земляного полотна железной дороги на основе цифровых моделей.

Ключевые слова: прикладная геоинформатика, моделирование, цифровое моделирование, цифровые модели местности, железнодорожный путь, строение пути.

DOI: 10.21777/2312-5500-2016-3-104-114

Введение

Геоинформатика решает различные задачи в прикладных областях на основе интеграции геоинформатики и методов информатики [1]. Интеграция технологий и данных позволяет решать комплексные задачи и осуществлять междисциплинарный перенос знаний в различные области. Развитие наук о Земле привело к новому



А.О. Куприянов

использованию методов цифрового моделирования [2, 3]. Применение методов прикладной геоинформатики привело к трансформации понятия сбор данных в понятие сбор геоданных [4] и формирование геоданных [5]. Это не формальная процедура, а результат геоинформационного подхода, который включает переход от измерений отдельных данных к измерениям систем данных. Цифровая модель представляет собой систему данных и содержит системную дополнительную информацию. Цифровую модель получают автоматизированными методами, что ускоряет процесс обработки пространственной информации и повышает качество

обработки информации.

Эволюция цифрового моделирования. Развитие автоматизированных методов обработки информации привело к появлению нового направления в моделировании – цифрового моделирования и специальных моделей, называемых цифровыми моделями. Термин «цифровое моделирование» – синоним термина «компьютерное моделирование». *Цифрование* (digitising) – информационная технология преобразования аналоговых данных в дискретную (цифровую) форму, пригодную для использования в компьютерных технологиях. Термин «цифровые» заимствован из названия «цифровые вычислительные машины» (ЦВМ). На ранних этапах развития вычислительной техники существовало два типа вычислительных машин – аналоговые и цифровые. Аналоговые вычислительные машины (АВМ) обрабатывали непрерывные аналоговые сигналы [6]. Они использовали специально разработанные электронные схемы, в которых осуществлялось функциональное преобразование аналоговой информации (сигналов). Переходная характеристика такой схемы соответствовала требуемому алгоритму обработки.

Например, для дифференцирования непрерывного сигнала, поступающего на вход системы, использовалась дифференцирующая цепочка, и непрерывный сигнал преобразовывался в другой, который представлял собой непрерывную производную исходного. Аналогично дело обстоит с интегрированием или решением дифференциальных уравнений. Другими словами, алгоритм обработки был жестко зашит в электронную схему обработки и был не перестраиваемым. По этой причине эти ЭВМ были узкоспециализированными и дорогими в изготовлении.

Цифровые вычислительные машины [7] были основаны на преобразовании аналоговых сигналов в дискретные последовательности с сохранением информативности. Для того чтобы обработать информацию с помощью ЦВМ она должна быть дигитализирована (digital – цифра), т. е. преобразована в цифровой код. Именно цифровой код и является доминантой, определяющей суть термина «цифровой». ЦВМ были более универсальными в обработке, так как позволяли обрабатывать данные с помощью наборов программ. Кроме того, они были более дешевыми по стоимости производства. Таким образом, универсальность и низкая стоимость явились существенными конкурентными преимуществами ЦВМ перед АВМ, что и привело к вытеснению с рынка АВМ. В настоящее время аналоговые вычислительные машины практически не используются, за исключением спецпроцессоров данных. Все персональные компьютеры являются цифровыми и поэтому данный термин больше не употребляют по отношению к компьютерам.

Однако основоположником цифрового моделирования следует считать Клода Эл-

вуда Шеннона, который придумал импульсно-кодovou модуляцию [8]. Импульсно-кодová модуляция включала дискретизацию по времени и квантование сигнала по амплитуде. По существу, был задан информационный стандарт, который положил основу цифровому направлению в технике. Цифровые методы стали применяться как средство компьютерной обработки в альтернативу понятию «численные методы». Особенно эффективным их применение было в связи [9] и радиолокации [10]. Широкое применение цифровые методы нашли в обработке изображений [11]. С появлением спутниковых навигационных технологий цифровые методы стали основой спутниковой навигации [12]. С 80-х годов цифровые методы постепенно стали применяться в геодезических и кадастровых работах.

Цифровое моделирование. Если в радиосвязи, обработке изображений, радиолокации и навигации речь шла о цифровой обработке, то в геоинформатике цифровые методы развернулись в сторону моделирования. В геоинформатике говорят больше о цифровом моделировании и о цифровых моделях, чем о цифровых сигналах. Это качественное различие. Термин «цифровой» сохранился как характеристика для некоторых данных и систем (цифровые методы, цифровые снимки, цифровые фотокамеры, цифровые данные, цифровая информация). В настоящее время он означает, что информация в этих данных и системах содержится в дискретной форме и предназначена для обработки с помощью современных компьютерных технологий. Цифровые модели имеют дискретную структуру и служат основой отображения аналоговых (сплошных) моделей.

В информатике и геоинформатике цифровое моделирование заключается в реализации возможностей математических методов и программ для моделирования объектов. В широком смысле слова цифровая модель (ЦМ) (digital model, DM) – это информационная дискретная модель, сформированная для обработки на компьютере. Цифровая модель – компьютерно-ориентированная модель. В узком смысле слова цифровая модель – это дискретная модель пространственных объектов, в которой одними из обязательных параметров являются координаты, размеры, габариты, точность координат, масштаб и т. д. Естественно, что эта модель предназначена для обработки в информационных или геоинформационных технологиях.

Определяющим в названии цифровая модель является то, что она сформирована в цифровом коде, который воспринимает компьютер и может проводить обработку на этой основе. Цифровые модели могут иметь в качестве структурной основы иерархическую, реляционную, сетевую или комплексную модель. Они могут храниться в базах данных или в виде файловых структур. Наибольшее распространение цифровые модели нашли в геоинформатике, проектировании, строительстве, архитектуре, экологии и др. В настоящее время для теоретического описания цифровой модели и обобщения различных видов цифровых моделей применяют термин «информационная конструкция» [13]. Этот термин обобщает модели процессов, свойств, объектов. Информационная конструкция может служить формальным описанием цифровой модели. А цифровая модель служит основой реализации информационной конструкции.

Цифровые модели в геоинформатике содержат различные типы информации. По аспекту пространственных отношений выделяют метрическую и атрибутивную информацию. По аспекту семиотического анализа выделяют семантическую и синтаксическую составляющие.

Метрическая информация определяет положение путем задания абсолютных координат точек ЦМ и размеры объекта путем относительных координат точек в условных или местных системах. Качественным отличием метрической информации цифровых моделей, полученных по реальным измерениям, является точностная характеристика. Она обусловлена ошибками измерений и последующими ошибками вычислений. Этот параметр определяет применимость цифровой модели при решении практических задач в разных масштабах.

Атрибутивная информация в ЦМ определяет принадлежность точек или объектов

к определенному классу или объекту (сложный или простой объект), описывает свойства объектов и их частей, задает взаимосвязи и условия обработки, условия воспроизведения и т. п., так же как и во всей геоинформатике, она решает главную задачу нахождения пространственных отношений

Семиотический аспект позволяет, рассматривая ЦМ как информационную модель, вводить известные в информатике оценки – коэффициент информативности и коэффициент содержательности цифровой модели. Семантическая часть информации определяет ее содержательную сторону, она связана с кодированием данных. Синтаксическая информация определяет набор правил и отношений работы с цифровой моделью как с обычной информационной моделью. Она связана с классификацией и правилами построения моделей.

Логическая структура ЦМ определяется как совокупность схем и логических записей, описывающих данную ЦМ. Она может включать схемы взаимосвязи частей ЦМ в натуре, в базе данных, схемы взаимосвязи свойств ЦМ и схемы построения ЦМ. Она содержит логические записи, составляющие информационную основу. Элементом логической структуры ЦМ является логическая запись. Физическая структура ЦМ определяется способом реализации логической ЦМ на конкретной технической основе. Она задает формат записи данных, размеры кластеров, слов и т. д. Элементом физической структуры ЦМ является физическая запись.

Среди пространственных цифровых моделей выделяют несколько видов: цифровая модель местности, цифровая модель объекта, цифровая модель явления (процесса). Наибольшее применение в САПР и геоинформатике находит цифровая модель местности.

Цифровая модель местности (digital terrain model, DTM) отображает объекты местности и содержит информацию о местности в виде дискретных наборов данных. Цифровая модель местности (ЦММ) – информационная дискретная модель местности, предназначенная для хранения и обработки в компьютерных технологиях, которая должна содержать несколько основных свойств, вытекающих из ее определения, а именно:

1. Как информационная модель, ЦММ должна содержать полную (в рамках решаемых задач) информацию об объекте моделирования. В этой части можно говорить о семантической составляющей ЦММ.

2. Как семиотически полная модель, ЦММ должна включать три части: синтаксис – правила построения и использования; семантику – содержательную часть об объекте моделирования; прагматику – быть полезной, иметь меру оценки полезности.

3. Как цифровая, она должна быть оптимально организована и удобна при работе на ЦВМ. Это означает, что для полной ее реализации должна быть определена ее дата-логическая и физическая составляющая. Она должна быть представлена в цифровом коде на машиночитаемом носителе информации.

4. Как модель вообще, ЦММ должна быть классифицирована на известном классе моделей. Это означает, что она должна в качестве логической основы содержать одну из базовых моделей данных, а также удовлетворять требованиям и обладать общими свойствами моделей соответствующего класса безотносительно к предметной области ее применения.

5. Как модель объекта отражения (местности), т. е. модель, имеющая конкретное назначение и функции, она должна содержать специальную тематическую информацию о моделируемом объекте. Это означает, что ЦММ должна содержать описания и характеристики моделируемых объектов.

6. Как содержимое базы данных, ЦММ должна быть организована не в виде файловой системы, а структурирована в модель базы данных. Это накладывает на нее определенные условия формирования и использования.

7. Как информационный продукт, ЦММ должна обладать потребительскими

свойствами. Потребительские свойства определяются разнообразными возможностями применения ЦММ. Следовательно, с целью повышения потребительской полезности ЦММ в базе данных должна быть информативно переопределена, чтобы ее можно было использовать для решения не одной, а различных задач. В этой части можно говорить о прагматической составляющей ЦММ.

Одной из разновидностей ЦММ является цифровая модель рельефа. Эта модель используется для отображения рельефа местности. Одним из способов решения этой задачи является использование изолиний.

Изолинии – линии, которые используются для отображения некоего явления или процесса с частично сохраняющимися свойствами. Представляют собой пространственные линии равного значению какой-либо величины, распределенной в пространстве. Например, это могут быть линии равных высот (*горизонтали*) на местности или линии, характеризующие глубину водоема (*изобаты* от изо... и греч. bathos – глубина), которые отображаются на географических картах.

Цифровая модель объекта (ЦМО) – информационная дискретная модель объекта, предназначенная для хранения и обработки в компьютерных технологиях. Включает совокупность координат точек, характеризующих объект, связи между точками, информацию о свойствах объекта

Цифровая модель явления (ЦМЯ) – дискретная модель пространственного явления, предназначенная для хранения и обработки в компьютерных технологиях. Ее особенностью является то, что она формируется в виде наборов данных, образующих временной ряд. Это дает возможность проводить мониторинг и осуществлять получение прогнозных оценок. ЦМЯ, подобно ЦММ, может изображаться в виде различных изолиний, описывающих разные процессы и явления.

Цифровые модели железнодорожного пути. Различают два качественных вида цифровых моделей железнодорожного пути – это цифровые модели верхнего строения пути и цифровые модели нижнего строения пути.

Верхнее строение пути предназначено для восприятия нагрузок от колес подвижного состава и передачи их на нижнее строение пути, а также для направления движения колес по рельсовой колее. Оно включает рельсы, рельсовые скрепления, подрельсовые опоры и балластную призму [14]. К верхнему строению относят также элементы соединений и пересечений путей (стрелочные переводы и др.). Верхнее строение пути обеспечивает безопасное движение поездов с установленными максимальными скоростями; его элементы должны быть прочными и устойчивыми в работе.

К нижнему строению относятся земляное полотно и некоторые искусственные сооружения. Земляное полотно железной дороги – комплекс инженерных сооружений из грунтов, служащее основанием для верхнего строения пути. Земляное полотно обеспечивает выравнивание земной поверхности и необходимые план, профиль и устойчивость железнодорожного пути, воспринимает нагрузки от рельсошпальной решетки, балласта и подвижного состава, равномерно распределяя их на нижележащий естественный грунт.

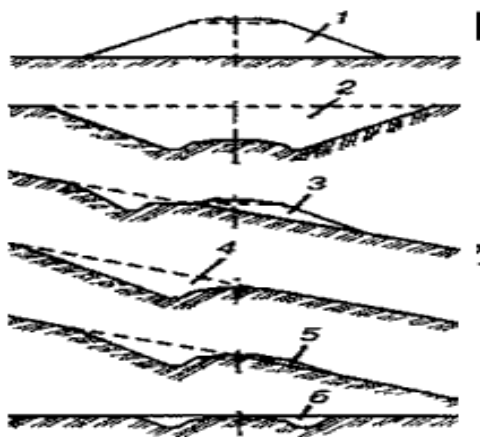


Рис. 1. Типы земляного полотна:
1 – насыпь; 2 – выемка;
3 – полунасыпь; 4 – полувыемка;
5 – полунасыпь-полувыемка;
6 – нулевое место [14]

Основные типы земляного полотна – насыпи, выемки, полунасыпи, полувыемки,

полунасыпи-полувыемки, нулевые места (рис. 1).

Полотно имеет сопутствующие устройства, предназначенные главным образом для сбора или отвода воды: у насыпей – *бермы*. Полотно имеет продольные канавы или *резервы* (из резервов берется грунт для возведения насыпей), у выемок – кюветы, банкеты и забанкетные канавы (для отвода воды с обреза выемки), кавальеры (для складирования лишнего грунта), нагорные канавы. Высота насыпей или глубина выемок составляет от 1–2 до 25–30 м.

При больших рабочих отметках насыпи обычно заменяют виадуками, а выемки – тоннелями. Полунасыпи, полувыемки и полунасыпи-полувыемки сооружают в основном в горных районах. Основная площадка полунасыпи располагается полностью на насыпном грунте, полувыемки – на естественном грунте. В связи с тем, что у полунасыпи-полувыемки из-за неодинаковых условий прочности полотна под обеими рельсовыми нитями трудно обеспечить устойчивость откосов насыпной части, этот тип земляного полотна применяется редко.

Земляное полотно сооружается по типовым или индивидуальным проектам. В настоящее время основой такого проекта является цифровая модель земляного полотна.

Такая цифровая модель строится большей частью с применения САПР, а не ГИС. Таким образом, одно из применений цифровых моделей железнодорожного пути – это решение задач проектирования. Эта цифровая модель есть цифровая модель рельефа, но в крупном масштабе. Но основной задачей цифрового моделирования является мониторинг земляного полотна.

Дефекты и деформации земляного полотна возникают из-за отклонений конструкций земляного полотна от современных норм. Их причиной могут быть несовершенства технологий и ошибки, допущенные при строительстве дороги. Они могут быть причиной неудовлетворительного состояния верхнего строения пути, недостаточной прочности грунтов, отсутствия или малой работоспособности защитных и укрепительных сооружений и т. п. В соответствии с принятой классификацией дефекты и деформации земляного полотна в зависимости от места проявления, причин возникновения и характера повреждений подразделяются на восемь групп [17–19]. Это определяет то, что по результатам мониторинга земляного полотна выявленные дефекты и смещения надо классифицировать по этим группам.

Основой для цифрового моделирования железнодорожного полотна являются геоданные [5, 20]. Особенно эффективно их применение для сложных проектов, например при строительстве туннелей [21].

В отличие от других моделей, цифровые модели дают возможность исследовать не только состояние и ситуацию [22] вокруг железнодорожного пути, но и исследовать динамику ситуации [23]. Современные цифровые модели, построенные как реализации информационных конструкций [13], позволяют оценивать взаимодействие между земляным полотном и окружающей средой. По существу, они позволяют проводить оценку взаимодействия в информационных терминах и моделях [24]. Динамические цифровые модели позволяют осуществлять управление транспортом [25] с использованием спутниковых технологий.

Применение цифровых моделей для комплексного мониторинга земляного полотна. Комплексный мониторинг земляного полотна опирается на цифровые и другие методы [26]. Это обусловлено тем, что возникает необходимость контроля не только его формы, но и внутреннего состояния. Технологическая система мониторинга земляного полотна на сети дорог включает построение цифровых моделей полотна и явлений, а также комплекс различных методов диагностики и геодезических наблюдений

При комплексном мониторинге земляного полотна применяют методы диагностики, основанные на геологоразведочном бурении и шурфовании, а также различные геофизические методы. Применяют также технологии дифференциального

спутникового позиционирования [27] в комплексе с наземными стационарными и мобильными информационно-измерительными системами на объектах железнодорожного транспорта. Система комплексного мониторинга железнодорожного пути с использованием ЦМ позволяет проводить объективный анализ состояния пути, что способствует предупреждению аварий и снижению рисков на железных дорогах.

Использование спутниковых технологий позволяет создать единую систему цифровых моделей железной дороги и на этой основе постоянно и глобально [29] контролировать все объекты железной дороги: рельсовые пути, инфраструктуру, подвижной состав и окружающую среду

Комплексный мониторинг земляного полотна на основе применения цифровых моделей – научное направление, связанное с определением фактического состояния земляного полотна, качественной и количественной оценкой изменений, происходящих в нем под воздействием динамических поездных нагрузок и влиянием природно-климатических факторов, а также с периодическим контролем земляного полотна в процессе эксплуатации железнодорожного пути [26]. При этом большое значение в последнее время приобрели космические методы мониторинга [30]. Эксплуатируемое земляное полотно с позиций мониторинга подразделяется на следующие категории:

I категория – аварийное земляное полотно, участки, где произошли крупные деформации и остановлено движение поездов (например, сплывы откосов, разрушение насыпей, карстовые провалы). В этом случае происходит срочное восстановление земляного полотна и одновременно оперативно выполняется обследование не только разрушенного участка, но и смежных с ним участков земляного полотна;

II категория – эксплуатируемые участки с обнаруженными деформациями земляного полотна, на которых действуют предупреждения об ограничении скорости движения поездов;

III категория – участки земляного полотна, расположенные в сложных инженерно-геологических условиях, поэтому требующие повышенного внимания из-за возможности проявления на них деформаций (районы распространения карста, болот, оползней, вечной мерзлоты);

IV категория – высокие насыпи из глинистых грунтов, которые, как правило, потенциально ненадежны;

V категория – стабильное земляное полотно, но его состояние необходимо оценить при назначении сроков ремонта пути.

В зависимости от категории состояния земляного полотна и эксплуатационных условий диагностические исследования полотна (изучение признаков, характеризующих его техническое состояние) подразделяются на детальные, рекогносцировочные (предварительные) и режимные. Детальная диагностика проводится на объектах земляного полотна с уже обнаруженными или с явными признаками проявления деформаций (I, II, III категории) и имеет своей целью получение исходных данных для разработки мероприятий по усилению земляного полотна.

Рекогносцировочная диагностика выполняется с целью предварительной оценки состояния объекта и определения необходимости его дальнейшего детального обследования (III, IV и V категории). Режимная диагностика объекта (мониторинг его технического состояния) проводится периодически в процессе эксплуатации пути для выявления аномальных и сомнительных по состоянию участков (в дальнейшем они детально обследуются) и определения сроков и очередности выполнения ремонтных работ. Они применяются для всех категорий земляного полотна, но прежде всего для IV и V категорий.

Система мониторинга содержит традиционные и новые методы, основанные на различных физических принципах (геофизические методы), а также специально разработанные передвижные диагностические комплексы. Традиционные методы

включают эксплуатационные наблюдения (визуальный осмотр, учет выправок пути, замеры смещений масс грунта по маякам и маркам, проверка положения и роста трещин); геодезические методы (нивелирование по точкам створов и головкам рельсов, проверка сдвижки пути, съемка поперечных и продольных профилей земляного полотна); инженерно-геологические методы (бурение скважин, устройство шурфов, прорезей, расчисток, отбор проб грунта и их лабораторные испытания для определения физико-механических свойств).

В отдельных случаях применяются специальные механические методы испытаний грунтов в массиве. Методы эксплуатационных наблюдений и геодезические методы характеризуют внешние признаки проявления деформаций; инженерно-геологические методы определяют внутреннее строение и состояние грунтов земляного полотна; механические методы позволяют оценивать прочностные характеристики грунтов в массиве без отбора проб. При применении только традиционных методов и существующих темпах их использования задача своевременного выявления опасных для движения поездов участков земляного полотна не может быть решена в ближайшем десятилетии.

Геофизические методы составляют основу современной системы диагностики земляного полотна, базируются на изучении закономерностей изменения различных физических полей в грунтах земляного полотна в зависимости от их сложения, свойств и состояния.

Физические поля в земляном полотне могут возникать от направленных воздействий постоянного или переменного электрического тока через забитые в грунт электроды (электрометрический метод); от воздействия ударных нагрузок (например, молотом) по грунту (сейсмический метод); от движущегося поезда (вибрационный метод); от излучения электромагнитных высокочастотных зондирующих сигналов (радиолокационный метод).

Принципиальная схема применения геофизических методов состоит в следующем: возбуждение физических полей в земляном полотне, прием и преобразование ответных сигналов (отклик системы), регистрация сигналов измерительной аппаратурой, автоматизированная система обработки полученной информации, интерпретация и инженерно-геологическое истолкование результатов диагностики.

Геофизические методы, как правило, применяются в комплексе с небольшим объемом контрольного бурения (обычно 10–15% от общего объема бурения, выполняемого при традиционном обследовании), что необходимо для более достоверной интерпретации и инженерно-геологического истолкования полученных данных. Ниже приведена краткая характеристика геофизических методов, которые применяются при диагностике земляного полотна.

Электрометрический метод с использованием профилирования, вертикального зондирования позволяет обнаруживать деформации основной площадки в виде балластных углублений и увлажненных зон грунта; определять карстовые полости; оценивать величину осадки насыпи на болотах; выявлять границы мерзлых грунтов в теле насыпей и их основании, а также решать ряд других задач.

Наряду с электрическими измерениями по методикам профилирования и зондирования, когда измерения проводятся на поверхности земляного полотна, разработана модификация электрометрического метода – электродинамическое зондирование (ЭДЗ). Сущность ЭДЗ состоит в том, что в массив грунта на исследуемую глубину забивается ударами эталонного груза металлический зонд, состоящий из нескольких соединенных между собой труб. По мере погружения зонда в земляное полотно через определенные интервалы по глубине измеряется сила тока, пропускаемого в грунте через электроды, находящиеся на конце зонда. Метод ЭДЗ позволяет получать не только литологический разрез земляного полотна, но и данные о

прочностных характеристиках песчано-глинистых грунтов до глубины порядка 5–7 м.

Сейсмический метод в модификации профилирования, продольного (вдоль пути) и кругового (на откосах насыпей) зондирования, просвечивания (сейсмотомографии) тела насыпи с противоположных откосов позволяет решать подавляющее большинство задач, которые встречаются при всех видах диагностических исследований земляного полотна. Среди них детальные исследования внутреннего строения земляного полотна, определение водонасыщенных зон в насыпях и уровня грунтовых вод в их основании; оценка показателей свойств грунта и определение ослабленных по прочности зон в насыпях и их основании; обследование земляного полотна, эксплуатируемого в сложных инженерно-геологических условиях.

Вибрационный метод применяют для диагностики насыпей, которые рассматриваются в виде системы, преобразующей входное динамическое воздействие в выходную реакцию изменяющихся во времени колебательных процессов. Каждому состоянию эксплуатируемой насыпи соответствует своя цифровая модель. В результате исследований на эталонных объектах земляного полотна разработана классификация диагностических признаков для различных видов деформаций. Существенным преимуществом такого метода является возможность оценивать динамическое состояние насыпи во время ее функционирования, т. е. в процессе воздействия подвижного состава.

Радиолокационный метод основан на использовании излучаемых радиопередатчиком коротких электромагнитных сигналов, проникающих в грунт через передающую антенну. Отражаясь от слоев грунта, имеющих разные электромагнитные свойства, сигналы с информацией о состоянии среды улавливаются приемной антенной. По времени запаздывания между зондирующим и отраженным сигналами определяется глубина залегания отражающего контакта. Скорость распространения радиоволн зависит от диэлектрической проницаемости грунтов (ϵ). Различие величины ϵ для разных типов грунтов позволяет стратифицировать слои грунта в земляном полотне и обнаруживать различные неоднородности. Стратификация – одна из основных процедур геоинформатики и цифрового моделирования.

Радиолокационный метод характеризуется большой разрешающей способностью, технологичностью и высокими технико-экономическими показателями. Это объясняется возможностью непрерывных бесконтактных измерений с использованием транспортного средства.

Для обследования сравнительно небольших по протяженности участков используется перемещающийся по рельсовому пути радиолокационный комплекс «Геодефектоскоп», созданный на базе георадара (транспортного средства типа дефектоскопной тележки) и другого вспомогательного оборудования. Измерительный комплекс «Геодефектоскоп» предназначен для оценки состояния верхней части земляного полотна на глубинах 1,5–2 м с привязкой к конкретным пикетам. Решаемые задачи: выявление балластных углублений в основной площадке, определение границ промерзания и оттаивания грунта, выделение участков с балластными выплесками и др. Измерения выполняются непрерывно по длине пути со скоростью передвижения оператора 3–4 км/ч. Принципиально возможно размещение георадиолокационной системы в вагоне-путеизмерителе и получение комплексной информации о диагностируемых параметрах верхнего строения пути и земляного полотна.

Методы инженерного анализа и компьютерной обработки данных используются при диагностике земляного полотна на стадии рекогносцировочных обследований или мониторинга технического состояния пути для обработки путеизмерительных лент. Все перечисленные методы передают информацию в цифровую модель, которая служит основой комплексного анализа.

Заключение. Современное цифровое моделирование в геоинформатике отличается от цифрового моделирования в теории связи и программировании.

Цифровые модели позволяют описывать не только железнодорожный путь, но и окружающую среду и явления, происходящие в этой среде. Это обусловлено многообразием цифровых моделей: цифровые модели объектов, цифровые модели явлений, цифровые модели процессов, цифровые модели ситуаций и т. д. Теоретической основой описания современных цифровых моделей является информационная конструкция. Применение цифрового моделирования железнодорожного пути позволяет проводить комплексную обработку и комплексный анализ, которые другими методами проводить нельзя.

Литература

1. *Майоров А.А., Цветков В.Я.* Геоинформатика как важнейшее направление развития информатики // Информационные технологии. 2013. № 11. С. 2–7.
2. *Павлов А.И.* Цифровое моделирование пространственных объектов // Славянский форум. 2015. № 4 (10). С. 275–282.
3. *Куприянов А.О.* Цифровое моделирование при подземных геодезических работах // Образовательные ресурсы и технологии. 2015. № 4 (12). С. 57–65.
4. *Цветков В.Я., Домницкая Э.В.* Геоданные как основа цифрового моделирования // Современные наукоемкие технологии. 2008. № 4. С. 100–101.
5. *Цветков В.Я.* Модель геоданных для управления транспортом // Успехи современного естествознания. 2009. № 4. С. 50–51.
6. *Корн Г., Корн Т.* Электронные аналоговые и аналого-цифровые вычислительные машины. – М.: Мир, 1967.
7. *Каляев А.В.* Теория цифровых интегрирующих машин. – М.: Советское радио, 1970.
8. *Цветков В.Я.* Клод Элвуд Шеннон как основоположник цифрового моделирования // Перспективы науки и образования. 2014. № 1. С. 44–50.
9. *Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н.* Цифровая обработка сигналов: справочник. – М.: Радио и связь, 1985.
10. *Лихарев В.А.* Цифровые методы и устройства в радиолокации. – М.: Сов. радио, 1973.
11. *Фурман Я.А., Юрьев А.Н., Яншин В.В.* Цифровые методы обработки и распознавания бинарных изображений. Т. 1. – Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 1992.
12. *Банкет В.Л., Дорофеев В.М.* Цифровые методы в спутниковой связи. – М.: Радио и связь, 1988.
13. *Tsvetkov V.Ya.* Information Constructions // European Journal of Technology and Design. 2014. Vol. 5. Is. 3. P. 147–152.
14. Железнодорожный транспорт: энциклопедия / Гл. ред. Н. С. Конарев. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. 559 с.
17. *Моченов Г.М., Титов В.П.* Дефекты, повреждения и разрушения земляного полотна железных дорог (классификация). – М.: Транспорт, 1972.
18. *Kurgan D.M., Bondarenko I.O.* Model' naprãženno-deformirovannogo sostoãniã železnodorožnogo puti na osnove volnovej teorii rasprostraneniã naprãženij // Problemy Kolejnictwa. 2013.
19. *Долгий А.И., Хатламаджиян А.Е.* Гибридная модель интерпретации деформаций в балластной призме и основной площадке земляного полотна на основе целевого преобразования Хафа и нейронной сети Кохонена // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2007. Т. 77. № 2.
20. *Савиных В.П., Цветков В.Я.* Геоданные как системный информационный ресурс // Вестник Российской академии наук. 2014. Т. 84. № 9. С. 826–829.
21. *Куприянов А.О.* Геодезическое обеспечение при строительстве трассы туннелей // Науки о Земле. 2013. № 1 (9). С. 32–38.
22. *Розенберг И.Н., Цветков В.Я.* Информационная ситуация // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2010. № 12. С. 126–127.
23. *Розенберг И.Н., Цветков В.Я.* Создание динамической пространственно-временной модели управления железной дорогой // Геодезия и картография. 2010. № 8. С. 48–51.
24. *Tsvetkov V.Ya.* Information interaction // European Researcher. 2013. Vol. 62. Is. 11-1. P. 2573–2577.
25. *Розенберг И.Н., Цветков В.Я., Романов И.А.* Управление железной дорогой на основе

спутниковых технологий // Государственный советник. 2013. № 4. С. 43–50.

26. *Ашпиз Е.С.* Мониторинг земляного полотна при эксплуатации железных дорог. – М.: ПУТЬ-ПРЕСС, 2002. 112 с.

27. *Липатников Л. А.* О методике точного дифференциального позиционирования (Precise Point Positioning) и перспективах ее совершенствования // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2012. № 7.

29. *Tsvetkov V.Ya.* Global Monitoring // European Researcher. 2012. Vol. 33. Is. 11-1. P. 1843–1851.

30. *Бондур В.Г., Воробьев В.Е.* Методы обработки аэрокосмических изображений, полученных при мониторинге объектов нефтегазовой отрасли // Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса / под ред. Бондура В. Г. – М.: Научный мир, 2012. С. 395–409.

Digital simulation the railway track

Kupriyanov Andrey Olegovich, Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Applied Geodesy, Moscow State University of Geodesy and Cartography

The article analyzes the digital simulation of the railway track. The article argues that the basis of digital simulation is a discrete model, designed for computer processing. This article describes the two types of digital models. The first kind is a digital model of the superstructure. The second type has a digital model of the lower track structure. The article reveals the content of the integrated monitoring of railway track. This monitoring is based on the use of digital models.

Keywords: applied geoinformatics, modeling, digital simulation, digital terrain models, railway track, permanent way.

УДК 004.02; 004.03; 004.8; 52–38; 528

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

*Владимир Леонтьевич Лотоцкий, проф., д-р техн. наук,
проф. кафедры информатики и информационных систем,
e-mail antaros05@ya.ru,*

*Институт информационных технологий
Московский технологический университет (МИРЭА),
<https://www.mirea.ru>*

Статья анализирует пространственное информационное моделирование как инструмент решения прикладных задач. Статья раскрывает многоаспектность этого моделирования. Описаны основные группы пространственного информационного моделирования. Раскрывается содержание основных характеристик этого моделирования. Показана связь пространственных моделей с интеллектуальными моделями. Показаны особенности решения задач с применением пространственных моделей.

Ключевые слова: информация, прикладная геоинформатика, моделирование, информационное моделирование, пространственное моделирование.

DOI: 10.21777/2312-5500-2016-3-18-24

Введение

Интерес к пространственному моделированию в информатике повысился в связи с исследованиями пространственного знания, которые проводились первоначально в области искусственного интеллекта [1–3]. Это обуславливает связь пространственного моделирования в информатике с искусственным интеллектом. Пространственное моделирование в информатике основано на информационном моделировании. В свою очередь, информационное моделирование сводится в этом случае к направлению – пространственному информационному моделированию. Информационное моделирование основано на использовании различных информационных моделей.