

изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

НОВИЧЕНКОВА Татьяна Борисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: tanovi.69@mail.ru

About the authors:

TURUSIN Ilya Valerievich – Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: Itaturusin72@gmail.com

TROFIMOV Valery Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vitrofa@mail.ru

BELOV Vladimir Vladimirovich – Advisor to RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

NOVICHENKOVA Tatiana Borisovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: tanovi.69@mail.ru

УДК 553.97:004.942

ОСОБЕННОСТИ ДИСКРЕТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГОРНЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ (НА ПРИМЕРЕ ТОРФЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

Т.Б. Яконовская

© Яконовская Т.Б., 2024

***Аннотация.** Отмечено, что цифровая модель торфяного месторождения необходима для принятия эффективных технико-экономических, инвестиционных, инженерных и организационно-управленческих решений. Описан принцип блочного моделирования указанного месторождения на основе дискретной математической модели.*

***Ключевые слова:** горная геоинформационная система, цифровая модель, дискретное моделирование, торфяное месторождение.*

В отраслях современной горной промышленности активно используют информационные и цифровые технологии для осуществления производственных процессов. Эта тенденция обусловлена действием различных факторов изменчивой внешней среды горных предприятий. Для нивелирования отрицательного влияния на экономическую безопасность горных предприятий этих факторов все чаще в добывающих компаниях прибегают к информационным технологиям, которые позволяют преобразовать реальное горное производство в «цифрового двойника» [1–3].

Горнодобывающая промышленность представляет собой сложный многоотраслевой сектор. Каждая отрасль имеет свои особенности ведения хозяйственной деятельности, но объединяет их все использование указанных технологий. Здесь следует отметить, что те информационные технологии, которые эффективны в одних отраслях горного сектора, не всегда целесообразно задействовать в других.

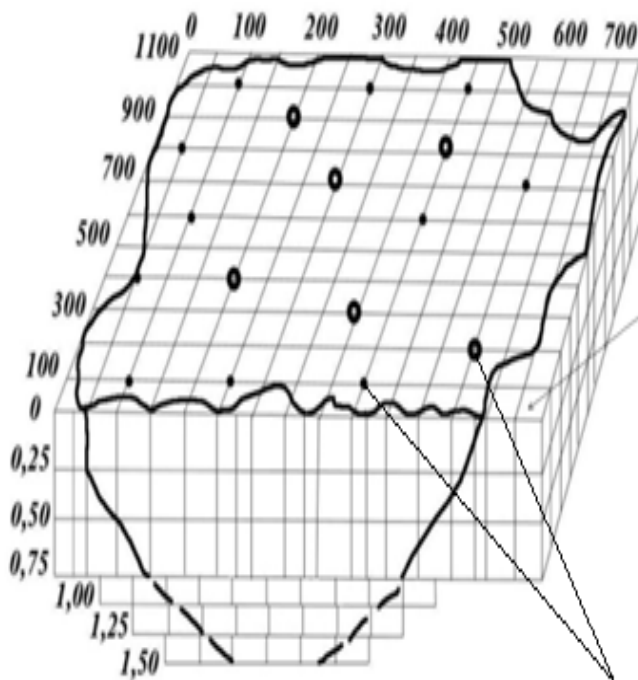
Для торфодобывающей отрасли, которая сейчас очень нуждается в инвестициях, процессы информационной и цифровой трансформации практически недоступны. Однако усложняющиеся горно-геологические, экологические, технологические и экономические условия разработки торфяных месторождений часто становятся причинами внедрения элементов информационной и цифровой трансформации производственных процессов на предприятиях торфяной отрасли. Для стимулирования хозяйственной деятельности в обозначенной отрасли и снижения рисков получения экономических потерь (убытков) необходимо построить модель торфяного месторождения, которая позволит точно рассчитать объем запасов торфа по категориям торфяного сырья, осуществить выбор оптимальной технологии добычи торфа и определить величину расходов и доходов от добычи торфа на различных участках месторождения [4].

Вопросам математического моделирования месторождений различных полезных ископаемых уделяется большое внимание в работах многих исследователей, однако вопросами моделирования торфяных месторождений занимались немногие специалисты. Автоматизация процесса проектирования торфяных предприятий и моделирование указанных месторождений находятся в зачаточном состоянии, даже несмотря на наличие на ранке программного обеспечения различных российских и иностранных горных геоинформационных систем, таких как Mineframe, Micromine, Surpac, K-MINE, Datamine и др. [5; 6].

В мировой практике торфяное месторождение рассматривается как единое геологическое тело, что, безусловно, облегчает задачу его моделирования, но в российской торфяной науке на геологическую структуру торфяного месторождения смотрят иначе. Так, например, уральская научная школа рассматривает торфяник как сложный многокомпонентный геологический объект, сложенный разными генетическими видами торфа. В тверской торфяной школе торфяное месторождение также является сложным по составу геологическим объектом, сложенным торфами различных типов и включающим несколько горизонтов погребенной древесины (от 0 до 4). Поскольку разные торфяные школы имеют свою точку зрения по вопросу о геологической структуре торфяного месторождения, то построенные модели одного и того же месторождения также будут сильно различаться в плане точности технико-экономических расчетов [7].

Математическая модель торфяного месторождения в общем виде представляет собой формализованное описание структуры и качественных характеристик месторождения в символьном, числовом или аналитическом виде, позволяющее решать горногеометрические, технологические и экономические задачи с использованием компьютера. На первом этапе моделирования необходимо определить тип математической модели исходя из уровня сложности торфяника. Исходной информацией являются данные зондирования и опробования торфяного месторождения, геофизического исследования торфяника [8; 9]. Из-за высокого уровня сложности следует применять вариант дискретной модели месторождения, так как она отвечает требованиям адекватности, точности и универсальности. Дискретные модели соответствуют дискретной интерпретации геометрических форм и распределения качества торфа, при которых описываемые объекты (залежи) разбиваются на элементарные и приблизительно одинаковые по качеству микроблоки. Кодирование качества сводится к идентификации геометрических объектов. Аппроксимация при этом линейная, представление информации – цифровое.

Дискретные модели, называемые также блочными и цифровыми, получили широкое применение в моделировании сложных по структуре, многокомпонентных месторождений, так как позволяют с высокой точностью учитывать прихотливые формы геологических тел и значительное число признаков качества. В этих моделях месторождение обычно представляется в виде послойной суммы микроблоков, каждый из которых характеризуется координатами x , y , z в трехмерном пространстве и кодом признаков торфа (степенью разложения, зольностью, пнистостью) (рисунок).



Точки сети зондирования глубины
Месторождения и пункты отбора
геологических проб

Пример дискретной (блочной) 3D-модели торфяного месторождения

Для построения объемной модели торфяного массива предлагается использовать зондировочную сеть, в которой каждой точке зондирования соответствуют декартовы координаты x и z , а каждому слою толщиной Δy присваивается порядковый номер поверхности от 1 до $\frac{y_i}{\Delta y + 1}$ (где y_i – мощность торфяного массива в точке i). Качественные характеристики по слоям торфяного массива в каждой точке зондирования предлагается определять методом интерполяции. Объем всего торфяного месторождения ΔV разбивается на микроблоки:

$$\Delta V = \Delta x \cdot \Delta z \cdot \Delta y,$$

где x, z – шаги зондировочной сетки по осям x и z , причем

$$\Delta F = \Delta x \cdot \Delta z,$$

где ΔF – площадь ячейки сети.

Отсюда появляется возможность вычислить площадь F_k и объем V_k каждого слоя промышленных запасов торфа с выделением торфяного сырья заданной категории (качества) или вида торфяной продукции:

$$F_k = \Delta F \cdot m_k; \quad V_k = \Delta V \cdot m_k,$$

где m_k – число блоков с заданной категорией сырья или вида торфопродукции.

Суммируя объемы запасов в слоях по всем категориям, получим послойные объемы балансовых запасов. Суммируя объемы послойных запасов, находим объем балансовых запасов по всему торфяному массиву.

Для интерпретации недостающих геологических данных и разделения торфа по классам используем интерполяцию по уравнению

$$F_x = \sum_{i=1}^n F_i \cdot r_{x_i}^{-2} \cdot \left(\sum_{i=1}^n r_{x_i}^{-2} \right)^{-1}.$$

Для решения задачи технико-экономической оценки торфяного месторождения требуется разработать метод распознавания категории торфяного сырья в зависимости от набора значений параметров, таких как тип торфа, степень разложения, зольность, пнистость. Иными словами, необходимо разбить многомерное подмножество точек $M \in R^n$ на классы. Размерность n множества R^n определяется числом параметров, дающих представление о категории сырья; число классов равно числу категорий торфяного сырья. Задача состоит в том, чтобы для каждого центра элементарного блока найти значения типа торфа, степени разложения, зольности, пнистости и т. д. Для последующих расчетов массы торфа необходимо установить и значения влажности. Отыскание параметра u_{ij} в i -м пункте и j -м горизонте производилось методом интерполяции в j -м от поверхности горизонте торфопласта:

$$u_{ij} = \frac{\sum_{l=1}^s \frac{u_l}{r_l}}{\sum_{l=1}^s \frac{1}{r_l}},$$

где u_l – значение параметра u в ближайших к i -му пункту точках рассматриваемого горизонта; r_l – расстояние между пунктами i и l , которое вычисляется исходя из координат x_i, z_i и x_l, z_l по теореме Пифагора.

При моделировании торфяного месторождения возникает важный вопрос о размерах единичных микроблоков, используемых для построения модели месторождения. Предлагается брать кубические микроблоки следующих размеров:

глубиной y 0,25–0,5 м (имеется в виду глубина пластообразующего слоя, в котором встречаются остатки растений-торфообразователей, соответствующих определенному торфяно-болотному фитоценозу);

длиной z 100–1 000 м (выступает шагом сети зондирования (зависит от площади месторождения и вида геологической разведки));

шириной x 100–1 000 м (обуславливается площадью месторождения, технологией разработки месторождения, а именно шириной технологической площадки или участка, на котором ведется добыча торфа).

В качестве заключения следует отметить, что ввиду большой протяженности торфяного месторождения в горизонтальном направлении возникают трудности с интерполяцией точек ограничивающих поверхностей (дневной поверхности и дна), поэтому необходимо подбирать оптимальный масштаб модели для ее лучшей наглядности; семейство дискретных математических моделей более точно позволяет описать геологическую структуру торфяного месторождения. При совершенствовании дискретной модели указанного месторождения можно

использовать в качестве единичного микроблока шестигранную призму, что, по мнению автора, существенно облегчит расчет объема запасов торфа в условиях неполной информации.

Библиографический список

1. Яконовская Т.Б. Цифровизация в реальном секторе экономики РФ: горнодобывающий комплекс // Цифровая экономика и общество: материалы Всероссийской научно-практической конференции / под ред. А.Н. Бородулина. Тверь: ТвГТУ, 2021. С. 47–54.

2. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И. Проблемы информатизации технологических процессов предприятий по добыче торфа // Актуальные направления научных исследований: технологии, качество и безопасность: сборник материалов Национальной (Всероссийской) конференции / под общ. ред. А.Ю. Просекова. Кемерово: КемГУ, 2020. С. 112–113.

3. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И. Цифровая трансформация торфодобывающего производства // Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование: тезисы докладов IV Международной научно-практической конференции. СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2021. С. 171–172.

4. Яконовская Т.Б. Геоинформационная аналитическая система «ГИС-торф» для торфодобывающего предприятия // Цифровая экономика и общество: материалы II Научно-практической конференции / под ред. А.Н. Бородулина. Тверь: ТвГТУ, 2022. С. 157–165.

5. Яконовская Т.Б. Информатизация предприятий горной промышленности: торфяная отрасль // Современные технологии и инновации: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. Тверь: ТвГТУ, 2022. С. 191–196.

6. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И. Классификация геоинформационных систем для горнодобывающих предприятий // Современные технологии и инновации: материалы V Всероссийской научно-практической конференции. Тверь: ТвГТУ, 2021. С. 113–118.

7. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И. Особенности 3D-моделирования торфяных месторождений // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: сборник докладов X Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: УГГУ, 2021. С. 88–95.

8. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И. Особенности 3D-моделирования торфяных месторождений в геоинформационной среде Micromine // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2021. № 1 (9). С. 71–85.

9. Яконовская Т.Б., Жигульская А.И. Торфодобывающее предприятие как информационный объект // Современные технологии и

инновации: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. Тверь: ТвГТУ, 2020. С. 167–170.

**FEATURES OF DISCRETE MODELING
IN MINING GEOINFORMATION SYSTEMS
(FOR EXAMPLE PEAT DEPOSIT)**

T.B. Yakonovskaya

***Abstract.** It is noted that the digital model of a peat deposit is necessary for making effective technical and economic, investment, engineering and organizational and managerial decisions. The principle of block modeling of the specified deposit based on a discrete mathematical model is described.*

***Keywords:** mountain geographic information system, digital model, discrete modeling, peat deposit.*

Об авторе:

ЯКОНОВСКАЯ Татьяна Борисовна – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и управления производством, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: tby81@yandex.ru

About the author:

YAKONOVSKAYA Tatyana Borisovna – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economics and Production Management, Tver State Technical University, Tver. E-mail: tby81@yandex.ru