

**А. В. Долгих** (Криворожский национальный университет, Украина)

В 2002 г. окончил Криворожский технический университет по специальности «маркшейдерское дело» и получил квалификацию магистра по горному делу. В настоящее время — доцент кафедры маркшейдерии Криворожского национального университета. Кандидат технических наук.

# Использование нейронных сетей при исследовании земной поверхности, подработанной подземными горными работами

При добыче полезных ископаемых подземным способом применяются различные системы разработки, а главными факторами выбора той или иной системы служат геологические, геофизические и экономические факторы. В середине XX в. на Криворожской шахте им. Орджоникидзе была принята система разработки, в которой предусматривается выход воронок на дневную поверхность. 18 марта 2010 г. в горном отводе шахты им. Орджоникидзе, при выполнении плановых взрывных работ, на поверхность вышла одна из таких воронок. Событие произвело огромный резонанс, так как это случилось в непосредственной близости от жилых построек, а подземные толчки были слышны почти на всей территории города. В результате этого, равнинная территория площадью 12 га в течении 10 минут превратилась в воронку с минимальной и максимальной отметками +45 м и +125 м соответственно (рис. 1). Согласно выполненным расчетам, объем образовавшейся пустоты составил приблизительно 1,8 млн куб. м.

Нужно отметить, что для Криворожского региона, выход воронок на дневную поверхность не является необычным явлением. Например, площадь, занятая уже образовав-

шимися воронками от влияния горных работ шахт им. Орджоникидзе и им. Ленина, составляет более 170 га. Однако, этой воронке, образовавшейся в небезопасной близости от жилых зданий и районов подземных горных работ, уделяется особое внимание (рис. 2). Поэтому, для постоянного мониторинга процесса влияния горных работ на жилые и промышленные здания и сооружения, с момента выхода воронки, на данном объекте ведутся систематические наблюдения деформаций заложенной сети реперов профильных линий.



Рис. 1. Образование воронки



Рис. 2. Границы воронки в непосредственной близости от поселка

Так как в результате выхода воронки «погашена» только часть подземных пустот, то для эффективного мониторинга необходима съемка непосредственно поверхности воронки. Нахождение человека внутри воронки исключено, так как в любой момент может произойти дальнейшее обрушение, а в местах террас и трещин наблюдаются углубления до 3 м и с раскрытием от 0,3 м до 2 м (рис. 3).

В данном случае речь может идти только о дистанционных методах съемки. Выполнение съемочных работ дистанционными методами на объекте усложняется большим количеством специфических факторов, которые несвойственны другим объектам.

Например, лазерное сканирование на объекте неэффективно из-за наличия большого количества «мертвых зон». При попытке выпол-



Рис. 3. Прилегающие территории покрыты трещинами



Рис. 4. Нестойкие козырьки на краях воронки

нения работ оказалось, что зона покрытия съемкой, даже при максимально большом количестве станций, не превысила 30% поверхности, а качество созданной цифровой модели низкое, из-за наличия на объекте растительности, других препятствий. Кроме того, в местах, удобных для съемки (на возвышенностях вдоль контура воронки), нахождение человека небезопасно (рис. 1, 4), что также приводит к существенному снижению качества съемки.

Выполнение аэрофотосъемки с применением мультиспектральных камер дало бы наилучший результат, но для небольших площадей, в данном случае 25 га, неэффективно. Однако, такая съемка с некоторой периодичностью должна выполняться, так как ее данные позволяют получить наиболее полную характеристику объекта (рис. 5, 6).

Сочетание метода наземной стереофотограмметрической съемки и безотражательной тахеометрии дает хорошие результаты с точки зрения оперативности и точности, но при построении цифровой модели рельефа необ-

ходимо решать задачу при отсутствии некоторых исходных данных.

Исследование поверхности воронки предложено выполнять после каждого взрыва с применением нейронных сетей. Технологическая схема выполнения работ выглядит следующим образом.

1. Исходными данными являются результаты аэрофотосъемки, которые используются для создания нейронной модели.

2. Вся поверхность воронки разбивается на множество участков, в пределах которых выполняется моделирование. Разбивка поверхности на множество участков необходима, так как на данный момент, современное состояние компьютерной техники не позволяет создать качественную модель на всю поверхность. Эта задача требует огромного количества времени и ресурсов. Именно поэтому, важной задачей является оптимизации количества анализируемых элементов цифровой модели методами генерализации. В данной задаче главным критерием генерализа-



Рис. 5. Цифровой план

ции является точность объема, который определяется от условной поверхности. Создание модели на всю поверхность, под силу только специализированным компьютерам.

3. Для каждого участка набирается минимально необходимое количество пикетов методом безотражательной тахеометрии или цифровой стереофотограмметрической съемки.

4. Для каждого участка генерируется модель с учетом данных, полученных с помощью новой съемки, выполненной способами безотражательной тахеометрии или цифровой стереофотограмметрической съемки. За базовую программу для работы с нейронными сетями принят программный продукт StatSoft STATISTICA, но анализируется возможность применения и других программ.

5. Для каждого участка рассчитывается объем от условной поверхности, учитывая изменения которых, можно судить о состоянии поверхности воронки. Эти данные и данные определений планового и высотного положения реперов профильных линий позволяют строить гипотезы о процессах, происходящих в недрах.

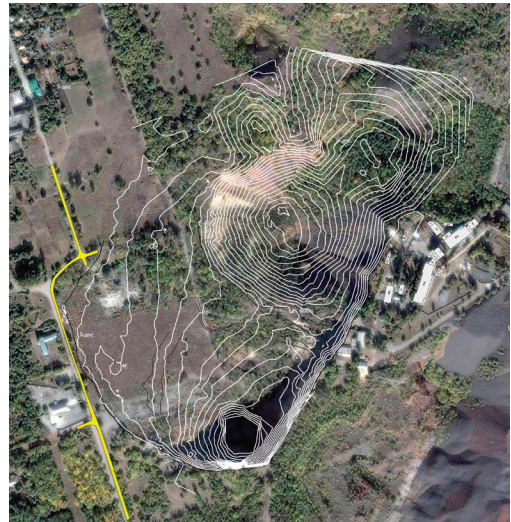


Рис. 6. План воронки

Данная методика в настоящее время исследуется и совершенствуется. Поэтому, еще не получены окончательные данные о состоянии массива, но с достаточной точностью решена задача выбора места съемки и участка, необходимого для проведения дополнительных исследований.

Результаты исследований показали, что на данный момент, поверхность воронки находится в стадии динамических изменений. На рис. 7 приведены изолинии величин осадок поверхности, проведенные с сечением через 1 м. На некоторых участках произошли оседания величиной не более 20 м, что позволяет сделать вывод о том, что большая часть пустот еще не погашена. На объекте необходимо выполнять дальнейшие исследования для обеспечения безопасной эксплуатации зданий и сооружений, находящихся в непосредственной близости к зоне обрушения, а также для обеспечения безопасного ведения горных работ.

Для решения данной задачи, способ нейронных сетей выбран не случайно. Исследования показали, что при условии, когда имеется полная информация об объекте, не следует



Рис. 7. Изолинии осадок

применять нейронные сети, так как классические методы показывают более стабильные и точные результаты. Но большинство классических методов оказываются бессильными при наличии «пропущенных данных».

В классической теории нейронных сетей есть несколько классов задач, традиционно решаемых этим методом, таких как регрессия, классификация, понижение размерности, кластеризация. Эти задачи, в том или ином виде, решаются маркшейдером. Но структура маркшейдерских данных далека от той классической формы, для которой разрабатывались нейронные сети. Классическими примерами могут служить задачи с курсом валюты или котировкой акций, размеры пятен на солнце, предсказание температуры по результатам многолетних наблюдений и т.д.

Метод нейронных сетей с самого начала накладывает серьезные ограничения, резко уменьшающие область их применения в маркшейдерии:

- \* во-первых, нужно владеть данными о том, есть ли между известными исходными (начальными) значениями и неизвестными выходными (конечными) данными связь;

- \* во-вторых, как правило, нейронные сети используются тогда, когда неизвестен точный вид связи между исходными и конечными данными, — если бы он был известен, то можно было бы применять непосредственное моделирование;
- \* в-третьих, для обучения сети необходимы исходные данные в достаточном количестве (так называемая предыстория), и таких данных должно быть от нескольких десятков до нескольких сотен.

Можно констатировать, что большинство задач маркшейдерского обеспечения подходят по этим критериям лишь частично. Это связано с особенностями представления маркшейдерских данных, которые нужно преобразовать и структурировать таким образом, чтобы их обработка была бы возможна нейросетевыми методами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов С. В., Новосельцев В. Б. *Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии)* / Под общ. ред. В. Б. Новосельцева. — Томск: Изд-во НТЛ, 2006. — 128 с
2. Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов А. С. *Нечеткие модели и сети*. — М.: Горячая линия — Телеком, 2007. — 284с.
3. Боровиков В. *STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. 2-е изд. (+CD)* — СПб. Питер, 2003. — 688с
4. *Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: Методология и технологии современного анализа данных* / Под редакцией В. П. Боровикова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Горячая линия - Телеком, 2008. — 392 с., ил.
5. Долгих А.В. *Преобразование маркшейдерских данных для моделирования нейросетевыми методами*. / Причий вісник. — Кривий Ріг: КНУ. — 96, 2013. — С. 85-89.