

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕДЕНИЯ РАБОТ ВБЛИЗИ КАРСТОВЫХ ПРОВАЛОВ ГРУНТА С ПОМОЩЬЮ КАНАТНОЙ СЕТКИ

О.В. Лонский¹, О.В. Голикова¹

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия, e-mail: LOV000@yandex.ru

Аннотация: На земле постоянно происходят провалы грунта в карстовых районах, а также в районах проведения подземных горных работ, поэтому необходимо ликвидировать последствия этих провалов. Проблема заключается в том, что провал со временем может расширяться за счет обрушения стенок. Эта опасная зона возможного часто внезапного расширения вокруг провала может быть определена геофизическими исследованиями. Обычно ее называют зоной полного запрета доступа людей. Вместе с тем для ликвидации последствий провалов приходится проводить работы в зоне полного запрета доступа. Так, в эту зону часто попадают скважины для закачки специальных растворов, наблюдательные скважины за уровнем подземных вод, конвейеры для засыпки провала. В результате проведенного обзора литературы и натурных исследований условий работы в зоне полного запрета доступа людей вблизи провала в районе города Соликамска был сделан вывод о том, что для обеспечения безопасности ведения работ вблизи провалов в настоящее время не имеется достаточно обоснованных технических решений. Эта проблема актуальна, так как карстовые провалы несут огромные риски как для природы, так и для людей. Это может обернуться гибелью людей, которые занимаются ликвидацией последствий провалов. Так, 12.09.2012 в городе Березники при засыпке провала ночью после обрушения стенки провала погиб рабочий. Целью данной статьи является исследование проблемы обеспечения безопасности ведения работ вблизи карстовых провалов грунта, и на основе этого предложение технического решения по обеспечению безопасности работников при проведении работ в зоне полного запрета доступа людей вблизи провала.

Ключевые слова: карстовые провалы, опасная зона, безопасность, работа на высоте, средства индивидуальной защиты, анкерные линии, кабельный кран, канатная сетка.

Для цитирования: Лонский О. В., Голикова О. В. Решение проблемы обеспечения безопасности ведения работ вблизи карстовых провалов грунта с помощью канатной сетки // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 10. – С. 157–164. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_10_0_157.

Safety of mining with rope meshes nearby sinkholes

O.V. Lonskiy¹, O.V. Golikova¹

¹ Perm National Research Polytechnical University, Perm, Russia,
e-mail: LOV000@yandex.ru

Abstract: Ground caving incessantly takes place in karst regions and in mining areas, and the caving after-effects are to be eliminated. The key problem is that a sink can expand with time because of wall caving. The hazardous zone of the potential and often sudden sink expansion can be determined by geophysical surveys. Usually such zones are made totally inaccessible for people. Thus, elimination of caving after-effects should be implemented in the walk-in inaccessible zone. Within the limits of such zones, there may be special-purpose injection wells, or ground water observation wells, or sink backfill conveyors. After the review of the available literature and in-situ studies on operation in the totally walk-in inaccessible zone nearby the sinkhole in Solikamsk area, the conclusion was drawn on the lack of the current and sufficiently reasoned engineering solutions on safety of operations nearby sinkholes. This is a burning problem as sinkholes impose immense risks both on nature and people. People engaged in elimination of caving after-effects run a death risk. On 12 September 2012, in Berezniki area, a workman died in wall caving during sink fill night shift. This study focuses on mining safety nearby sinkholes and on proposal of an engineering solution on safety of people and work in the total walk-in inaccessible zone nearby sinkholes.

Key words: sinkholes, hazardous zone, safety, elevated job, personal protection equipment, bolting, cable crane, rope mesh.

For citation: Lonskiy O. V., Golikova O. V. Safety of mining with rope meshes nearby sinkholes. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(10):157-164. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_10_0_157.

Введение

Карстовый провал — совокупность процессов и явлений, связанных с обрушением свода подземной полости с заполнением ее продуктами обрушения и появлением на поверхности земли пустот разнообразных размеров и форм в различных местах вследствие обрушения грунтов над полостями, находящимися в карстующихся породах или перекрывающих их отложениях [1].

Карстовые провалы возникают в различных районах. В людной местности он может непосредственно обернуться настоящей катастрофой. Причинами возникновения карстовых провалов могут быть как природные, так и возникающие в результате деятельности человека (подземные горные работы). Провалы происходят не только в России, но и в зарубежных странах. Первые сведения о затоплении рудников были зафиксиро-

ваны в конце XIX в. — Страссфуртские калийные шахты в Магдербург-Гальберштатском бассейне, рудники Aschersleben [2].

В качестве примера представим следующие карстовые провалы.

- Карстовый провал глубиной около 100 м в городе Гватемаль, произошедший в 2007 г. Также в этом же городе в 2010 г. образовался провал около 70 м. В зоне этого провала велись работы, погибли 15 чел.

- Карстовый провал в Белизе. Ширина провала — около 300 м, глубина — порядка 100. Открытие сделал французский исследователь Жак Ив Кусто.

- В 2015 г. Карстовый провал в Туле под фундаментом девятиэтажного корпуса «Конструкторского бюро приборостроения».

- В Пермском крае г. Кунгур в 2004 г. образовался карстовый провал.

- Провал на стоянке закусочной, Миссисипи. В 2015 г. у блинной закусочной в штате Миссисипи неожиданно образовалась карстовая воронка, и в ней оказалось 12 машин [3].

- Карстовый провал в Березниках. Образовавшийся в 2007 г. на территории «Уралкалий» (промышленная зона г. Березники) глубиной около 15 м, уже к 2009 г. он увеличился до площади около 2500 м² [4].

На примерах видно, что возникают карстовые провалы в различных районах и несут огромные риски как для природы, так и для людей. Опасность провалов заключается в том, что их образование непредсказуемо. Оно опасно для зданий, сооружений предприятий и инфраструктуры городов, и особенно для работников и жителей, оказавшихся вблизи провала [4].

Карстующиеся породы широко распространены на территории Пермского края. Общая площадь карстовых районов — 45,9 тыс. км², т.е. они занимают практически третью часть территории края (160,6 тыс. км²) [5].

Существуют также различные методы по обнаружению и исследованию карстов. Один из распространенных методов является радиофизический [6]. Существует также метод обнаружения и исследования карстовых провалов с помощью комплексной геофизической съемки [7].

Для уменьшения катастрофических потерь, вызванных карстовым провалом, особенно в городских районах, важно создать систему раннего предупреждения, использующую данные мониторинга. На основе изучения инженерно-геологических условий и характеристик процессов карстового провала проводится мониторинг трех основных аспектов: изменения поверхностного слоя почвы, деформаций почвы и уровней грунтовых вод [8]. Радикальное решение проб-

лемы работы в зоне провалов — переход на малолюдные, а в перспективе и безлюдные технологии. Переход к таким технологиям является перспективным с точки зрения безопасности горняков [4].

Однако достаточно часто приходится проводить работы в районах провалов грунта по их изучению и ликвидации последствий, в частности для остановки их роста и уменьшения притока воды в горные выработки, расположенные ниже провала. Например, таким образом происходила ликвидация провалов на калийных рудниках Соскачевана в Канаде, подавление рассолопритока на руднике в Березниках, а также ликвидация водопритока на Порецком руднике в Чувашской республике [9]. В связи с этим актуально обеспечение безопасности людей при работе в районе карстовых провалов. Проектирование и разработка инженерных проектов в карстовых средах требуют специфических подходов, направленных на минимизацию пагубного влияния различных опасных процессов и экологических проблем [10].

Разработка технического решения по обеспечению безопасности ведения работ в зоне полного запрета доступа людей в районе провала

С точки зрения обеспечения безопасности работу в районах карстовых провалов можно считать работой на высоте. Обеспечение безопасности при работе на высоте регламентируется Правилами по охране труда при работе на высоте: Приказ от 16 ноября 2020 г. № 782н Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации. В них нет прямых указаний по безопасности при работе в местах, где может возникнуть провал грунта в любое время.

По данным Росстата, в РФ падение работника с высоты составляет 43% от

общего количества несчастных случаев с тяжелыми последствиями на производстве [11]. Существуют различные подходы для уменьшения количества каких-либо травм и несчастных случаев. Например, оценка рисков и меры контроля в строительной отрасли. Процедура оценки риска позволит сократить возникновение каких-либо травм или несчастных случаев до минимума [12].

Причины несчастных случаев на высоте обусловлены различными факторами:

- недоукомплектованность средствами индивидуальной защиты от падения;
- ненадлежащий учет средств защиты, что приводит к использованию устаревших или непригодных средств защиты работы на высоте;
- недостаточное обучение как пользователей снаряжения, так и тех, кто организует работы на высоте;
- отсутствие технических решений по обеспечению безопасности при работе в специфических условиях, в частности вблизи провалов.

Современная система обеспечения безопасности работ на высоте состоит

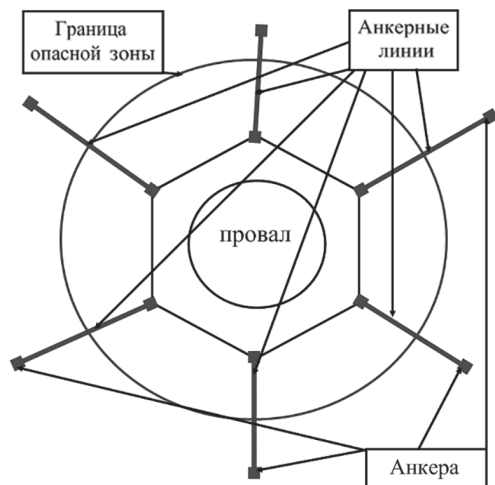


Схема сетки из анкерных канатных линий
Rope bolting mesh arrangement

из анкерного устройства, привязи, соединительно-амортизирующей подсистемы [13].

При изучении одного из провалов на Урале нами было выявлено следующее. На момент изучения провал имел приблизительно форму окружности диаметром около 150–200 м. На основе геофизических исследований была определена зона полного запрета доступа людей диаметром 500–700 м. В опасной зоне велась закачка через скважины цементно-глинистого раствора для уменьшения притока воды в рудник и работали люди без средств защиты.

Предлагается создать на поверхности в зоне полного запрета доступа канатную сетку из анкерных канатных линий достаточной прочности, позволяющую работникам использовать средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Для этого в районе производства работ необходимо разместить условно круговой канат (диаметром 250 м), к которому прикреплены и натянуты радиальные канаты, обеспечивающие подход работников к месту работы. На рисунке показана условная схема сетки из анкерных канатных линий в виде паутины, размещенной вокруг провала. После укладки условно кругового каната радиальные канаты натягиваются так, чтобы круговой канат остался во внутренней окружности, вписанной в точки расположения мест работ в зоне полного запрета доступа людей (например: обслуживание работы скважин). Натянутые радиальные канаты должны быть свободны для того, чтобы по ним могли двигаться тандем-кареетки, к которым карабинами прикрепляется привязь рабочих через соединительно-амортизирующие подсистемы.

Желательно расположение анкерных канатов на высоте, обеспечивающей фактор падения 0, не менее 2 м над поверхностью земли [13].

Анкерные канаты должны быть закреплены в местах пересечения с условно круговым канатом неподвижно.

В местах крепления радиальных канатов вне опасной зоны к земле должны быть надежные, прочные анкера — фундаменты («мертвяки»). Под радиальными анкерными линиями должны располагаться дополнительные опоры на расстоянии 12 м друг от друга. Опоры должны не мешать проходу роликовых двойных тандем-кареток, надетых на радиальный канат [13]. При провале земли под опорой она должна свободно проваливаться вниз, не цепляясь за канат. Величина предварительного натяжения радиальных канатов определяется по Таблице 3 Приложения № 11 к Правилам по охране труда при работе на высоте [13].

Работник присоединяется к канатам-анкерам с помощью карабина, расположенного на конце соединительно-амортизирующей подсистемы, который прикрепляется к свободно двигающейся по канату двойной роликовой тандем-каретке (имеющей по два ролика с двух сторон, которые охватывают канат). Двойная тандем-каретка обеспечивает движение ее по канату в любом положении (при возможном ее вращении на 360° вокруг каната). Длина соединительно-амортизирующей подсистемы подбирается индивидуально в зависимости от расстояния от каната-анкера до места выполнения работ.

Присоединение работников к условно круговому канату карабином или иным способом недопустимо.

В зоне полного запрета доступа людей прикрепление сетки из анкерных канатных линий к земле или зацепление за деревья и другие закрепленные в земле объекты должно быть исключено. Проектирование сетки из анкерных канатных линий должно производиться специализированной организацией для

каждого провала отдельно в зависимости от размера и формы провала, формы и размеров определенной исследованной зоны полного запрета доступа людей, количества и площади рабочих зон, количества одновременно работающих людей в рабочих зонах и т.д.

При этом необходимо выполнять требования, изложенные в Правилах по охране труда при работе на высоте [13]. Правильно рассчитанная и построенная сетка из анкерных канатных линий обеспечит безопасность и надежность работы в зоне полного запрета доступа людей вблизи провала.

Выбор канатов производится в соответствии с Рекомендациями по выбору типов и расчету прочности стальных канатов, применяемых в строительных металлических конструкциях [14]. Расчет по прочности стальных канатов, применяемых в качестве гибких несущих элементов, а также напрягаемых элементов предварительно напряженных конструкций следует выполнять по формуле:

$$\frac{N}{A} \leq R_{dh} \frac{y_c y_b}{y_n},$$

где A — площадь поперечного сечения канатного элемента; N — расчетное усилие растяжения каната; R_{dh} — расчетное сопротивление каната; y_c — коэффициент общих условий работы канатного элемента; y_b — коэффициент условий работы, учитывающий влияние на прочность каната концевых анкерных закреплений и промежуточных концентраторов напряжений; y_n — коэффициент надежности по назначению, учитывающий степень ответственности и капитальности сооружения, принимаемый в соответствии с действующими нормативными документами, заданиями и специальными техническими условиями для конкретных сооружений.

Расчет конструкции канатной сетки необходимо вести на одномоментную

нагрузку на сетку в ее центре от веса самой сетки и веса максимального количества работников, прикрепленных к сетке.

Максимальное количество работников, работающих одновременно в зоне полного запрета доступа людей, определяется организацией, ведущей работы в этой зоне.

Для ограничения движения тандем-кареток по анкерным канатам дальше рабочей зоны в сторону провала на канатах должны быть поставлены ограничители. Для спасения рабочих, повисших на анкерных канатах, необходимо у ограничителей расположить двойные тандем-кареетки с прикрепленным к ним канатом, протянутым к лебедке, закрепленной за опасной зоной. При работе лебедки эта тандем-кареетка «соберет» все тандем-кареетки, к которым прикреплены работники, расположенные выше ее на анкерном канате. Для спасения работников возможно использовать также средства спасения, предложенные в Правилах... [13].

Данное техническое решение можно применять при организации работ у провалов любой конфигурации.

При длительной работе в районе провала возможно применение кабельных кранов различных видов с подвешенной к грузовой тележке люлькой, на которой работники перемещаются к месту работы, а при спуске работников на землю за нее страхуются.

В зависимости от рельефа местности в районе провала возможно применение кабельных кранов параллельного вида. В данном случае обе опорные башни

крана перемещаются синхронно, по заранее проложенным прямолинейным путям. При этом рабочая зона, которая должна перекрывать опасную зону у провала, будет прямоугольного типа.

Второй вид кабельных кранов, которые можно применить у провалов, радиальные, у которых одна башня является полностью стационарной, а вокруг нее перемещаются одна или несколько других башен по кольцевым путям. В таком случае рабочая зона крана будет иметь вид сектора.

Выбор технического решения по обеспечению безопасности ведения работ вблизи карстовых провалов грунта зависит от многих причин, но в настоящее время нет реальных приемлемых технических решений кроме предложенных.

Заключение

В процессе изучения вопроса нами был предложен вариант технического решения обеспечения безопасности ведения работ вблизи провалов с помощью сетки из анкерных канатных линий. Предлагается создать на поверхности в зоне полного запрета доступа людей к провалу канатную сетку достаточной прочности, на радиальных канатах которой предварительно надеты двойные тандем-кареетки, к которым прикрепляются работники с помощью средств индивидуальной защиты от падения с высоты. Возможно также использование для обеспечения безопасности ведения работ вблизи провалов кабельных кранов, если это экономически целесообразно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лунегова М. С.* Понятие и механизмы образования карстовых провалов / Сборник научных трудов по материалам IX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в 2 томах. — 2016. — Т. 1. — С. 433—436.

2. Барях А. А., Евсеев А. В. Ликвидация калийных рудников и соляных шахт: обзор и анализ проблемы // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 9. — С. 8–9.

3. Strzałkowski P. Sinkhole formation hazard assessment. Czech Republic: Springer Link, 2018.

4. Колчина М. Е., Коновалов В. Е., Колчина Н. В. Вопросы безопасности и организации рационального использования земель промышленных городов в зонах влияния подземных горных выработок // Известия уральского государственного горного университета. — 2017. — № 1 (45). — С. 38.

5. Катаев В. Н., Максимович Н. Г., Мещерякова О. Ю. Типы карста Пермского края // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. — 2013. — № 1. — С. 56–66.

6. Никитин О. Р., Клочков М. А. Обнаружение и исследование карстов радиофизическими методами // Методы и устройства передачи и обработки информации. — 2009. — № 11. — С. 215–218.

7. Cueto M., Olona J., Fernández-Viejo G., Pando L., López-Fernández C. Karst-induced sinkhole detection using an integrated geophysical survey: a case study along the Riyadh Metro Line 3 (Saudi Arabia) // Near Surface Geophysics. 2018, vol. 16, no. 3, pp. 270–281.

8. Xueping L., Shangde X., Huiming T., Jinsheng P. A GIS-based monitoring and early warning system for cover-collapse sinkholes in karst terrane in Wuhan, China // Natural Hazards and Earth System Sciences, Discuss. [preprint], 2017. DOI: 10.5194/nhess-2017-22.

9. Кондратов А. Б. Новая концепция и разработка технических решений по активной защите калийных рудников от затопления // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — № 8. — С. 155–167.

10. Parise M., Closson D., Gutiérrez F., Stevanović Z. Anticipating and managing engineering problems in the complex karst environment // Environmental Earth Sciences. 2015, vol. 74, no. 12, pp. 7823–7835.

11. Ларина О. П., Халабуда Е. И. Систематизация и анализ причин несчастных случаев при работе на высоте // Молодежный вестник ИрГТУ. — 2019. — № 4 (9). — С. 65–70.

12. Ravi M., Santhosh V., Baskaran M., Murali U. Risk assessment and control measures in construction industries // International Journal of Engineering and Management Research. 2017, vol. 7, no. 4, pp. 302–304.

13. Правила по охране труда при работе на высоте, утвержденные приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации № 782н, от 16 ноября 2020 г.

14. Рекомендации по выбору типов и расчету прочности стальных канатов, применяемых в строительных металлических конструкциях. — М.: ЦНИИПроектстальконструкция, 1991. **МІАБ**

REFERENCES

1. Lunegova M. S. The concept and mechanisms of formation of karst dips. *Sbornik nauchnykh trudov po materialam IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh v 2 tomakh* [Collection of scientific papers on the materials of the IX International Scientific and practical Conference of students, postgraduates and young scientists in 2 volumes], 2016, vol. 1, pp. 433–436. [In Russ].

2. Baryakh A. A., Evseev A. V. Liquidation of potash mines and salt mines: review and analysis of the problem. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 9, pp. 8–9. [In Russ].

3. Strzałkowski P. *Sinkhole formation hazard assessment*. Czech Republic: Springer Link, 2018.

4. Kolchina M. E., Konovalov V. E., Kolchina N. V. Questions of safety and organization of rational use of industrial cities' lands in zones of influence of underground mining workings. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*. 2017, no. 1 (45), pp. 38. [In Russ].

5. Kataev V. N., Maksimovich N. G., Meshcheryakova O. Yu. Types of karst of Perm krai. *Vestnik Baltiyskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta*. 2013, no. 1, pp. 56–66. [In Russ].
6. Nikitin O. R., Klochkov M. A. Detection and investigation of karsts by radiophysical methods. *Metody i ustroystva peredachi i obrabotki informatsii*. 2009, no. 11, pp. 215–218. [In Russ].
7. Cueto M., Olona J., Fernández-Viejo G., Pando L., López-Fernández C. Karst-induced sinkhole detection using an integrated geophysical survey: a case study along the Riyadh Metro Line 3 (Saudi Arabia). *Near Surface Geophysics*. 2018, vol. 16, no. 3, pp. 270–281.
8. Xueping L., Shangde X., Huiming T., Jinsheng P. A GIS-based monitoring and early warning system for cover-collapse sinkholes in karst terrane in Wuhan, China. *Natural Hazards and Earth System Sciences, Discuss.* [preprint], 2017. DOI: 10.5194/nhess-2017-22.
9. Kondratov A. B. New concept and development of technical solutions for active protection of potash mines from flooding. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2012, no. 8, pp. 155–167. [In Russ].
10. Parise M., Closson D., Gutiérrez F., Stevanović Z. Anticipating and managing engineering problems in the complex karst environment. *Environmental Earth Sciences*. 2015, vol. 74, no. 12, pp. 7823–7835.
11. Larina O. P., Khalabuda E. I. Systematization and analysis of the causes of accidents at work at height. *Molodezhnyy vestnik IrGTU*. 2019, no. 4 (9), pp. 65–70. [In Russ].
12. Ravi M., Santhosh V., Baskaran M., Murali U. Risk assessment and control measures in construction industries. *International Journal of Engineering and Management Research*. 2017, vol. 7, no. 4, pp. 302–304. [In Russ].
13. *Pravila po okhrane truda pri rabote na vysote, utverzhdennye prikazom Ministerstva truda i sotsial'noy zashchity Rossiyskoy Federatsii № 782n, ot 16 noyabrya 2020 g.* [Rules on labor protection at work at height, approved by Order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation No. 782n, dated November 16, 2020]. [In Russ].
14. *Rekomendatsii po vyboru tipov i raschetu prochnosti stal'nykh kanatov, primenyaemykh v stroitel'nykh metallicheskiykh konstruktsiyakh* [Recommendations on the choice of types and calculation of the strength of steel ropes used in building metal structures], Moscow, TSNIIProektstal'konstruktsiya, 1991. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лонский Олег Васильевич¹ — канд. техн. наук, доцент,
e-mail: LOV000@yandex.ru,

Голикова Ольга Владимировна¹ — магистр,
e-mail: Olya24.07.1997@mail.ru,

¹ Пермский национальный исследовательский
политехнический университет.

Для контактов: Лонский О.В., e-mail: LOV000@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

O.V. Lonskiy¹, Cand. Sci. (Eng.),
Assistant Professor, e-mail: LOV000@yandex.ru,

O.V. Golikova¹, Magister,
e-mail: Olya24.07.1997@mail.ru,

¹ Perm National Research Polytechnical University,
614990, Perm, Russia.

Corresponding author: O.V. Lonskiy, e-mail: LOV000@yandex.ru.

Получена редакцией 30.12.2020; получена после рецензии 16.03.2021; принята к печати 10.09.2021.

Received by the editors 30.12.2020; received after the review 16.03.2021; accepted for printing 10.09.2021.