

М.С. Плешко, А.А. Насонов, Ф.И. Ягодкин, А.А. Привалов

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕКОНСТРУКЦИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ

Разработан проект реконструкции скипового ствола рудника «Узельгинский». В рамках проекта разработана схема сооружения камер загрузочных устройств с действующего горизонта. Работы выполнены одновременно с переармированием ствола. Предложено инновационное решение по усилению участка крепи ствола в зоне влияния приствольных выработок высокопрочным углепластиковым холстом, который работает как арматура растянутой зоны в железобетонной конструкции. Сотрудниками ЮРГПУ(НПИ) и «НТЦ «Наука и практика» разработан проект строительства скипового ствола №1 горно-обогатительного комбината «Гарлыкского месторождения калийных солей» в сложных горно-геологических условиях способом бурения. Предложена трехслойная сталебетонная крепь, усиленная шпангоутами из швеллера. С целью снижения материальных затрат выполнен комплекс исследований по оптимизации шага их установки. Разработана технология монтажа жесткой армировки одновременно с установкой колонны трехслойной крепи. Сбор металлоконструкций производится на специальном стенде рядом со стволом, после чего звено крепи с армировкой на платформе подается к стволу, стыкуется с колонной и опускается в ствол на проектную отметку.

Ключевые слова: шахтный ствол, инженерно-геологические условия, проектирование, проходка, реконструкция, крепь, армировка.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-8-0-179-186

Шахтный ствол — это уникальное подземное сооружение, которое не имеет аналогов. Стоимость его строительства составляет десятки млн долларов, продолжительность достигает 5–7 лет и более, срок эксплуатации — 60–80 лет.

Отличительной особенностью проходки современных стволов являются значительный рост веса стволового комплекса, энерговооруженности и других параметров проходки. В то же время скорости строительства стволов с увеличением глубин уменьшаются [1–3].

Помимо объективных горно-геологических предпосылок одной из причин низ-

кой технико-экономической эффективности сооружения и эксплуатации стволов является использование устоявшихся подходов при их проектировании и строительстве, не всегда адекватных меняющимся условиям, отсутствие четкой координации между геологоразведочными, проектными, научно-исследовательскими и шахтостроительными организациями при выполнении соответствующих работ. Многие из них из-за деструктивных процессов 1990-х годов не имеют устойчивого положения на рынке и проигрывают по уровню капитализации и технической оснащенности западным конкурентам.

В настоящее время заказчик, как правило, объявляет отдельные тендеры на выполнение работ по разведке месторождения и оценке условий строительства, разработку проектно-сметной документации и проходку стволов. В результате конкурсы выигрывают не связанные друг с другом организации, имеющие узкую специализацию и не учитывающие общую проблематику такого сложного процесса, как сооружение стволового комплекса.

Это приводит к возникновению и накоплению недостатков и ошибок на каждом этапе деятельности.

Так анализ горно-геологических условий строительства осуществляется на основании данных, полученных в результате бурения разведочных скважин. Они ограничены объемом полученного керна и не позволяют должным образом оценить механические, деформационные, реологические свойства, структуру и неоднородность пород в массиве. С увеличением глубины скважин точность данных существенно снижается. Геологические отчеты, составляемые по результатам исследований, часто не соответствуют требованиям нормативных документов. В них могут отсутствовать исследования трещиноватости и реологических свойств пород, применяются различные способы подсчета водопритоков и др. Слабо используются современные геофизические методы, позволяющие более комплексно оценить структуру залегания пород, размеры и расположение геологических нарушений и др. [4–5].

Это в свою очередь затрудняет разработку технико-экономически эффективных проектных решений. Из-за неуверенности в точности исходных данных и их ограниченности проектировщики закладывают в расчет существенно завышенные коэффициенты запаса работы крепи и армировки, при этом выбор

осуществляется в пользу давно известных, проверенных временем конструктивных решений, а последние исследования и достижения в области геомеханики и геотехнологии не принимаются во внимание.

Далее проектные решения передаются к исполнению шахтостроительной фирме, выигравшей конкурс на проходку ствола, которая часто не имеет возможностей варьировать способы и технологию работ. Отечественные организации, как правило, осуществляют проходку стволов по совмещенной схеме. Зарубежные фирмы, представленные на Российском рынке, специализируются на параллельных схемах проходки. Это приводит к тому, что проект крепи разрабатывается в отрыве от будущей технологии строительства. Вместе с тем современные исследования показывают, что технология работ во многом определяет последующий режим работы крепи, запас ее несущей способности и должна комплексно учитываться при проектировании.

Итогом данного положения являются удручающие технико-экономические показатели строительства и реконструкции стволов. Решение данной проблемы на наш взгляд возможно при создании тесной кооперации между всеми участниками процесса разработки и реализации геотехнологий. Один из ее примеров, существующий в Ростовской области, приведен на рис. 1.

При таком взаимодействии вуз получает возможность применять эффективные образовательные технологии, в частности организовать сквозные производственные практики, с помощью которых студенты участвуют сначала в процессе разработки проектных решений, а потом и в их реализации. Упрощается процесс, и уменьшаются сроки внедрения научных разработок, увеличиваются объемы проведения шахтных исследований, ста-

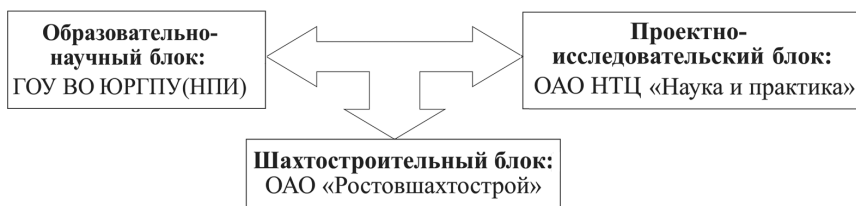


Рис. 1. Блок-структура кооперации организаций в области шахтного и подземного строительства

тистической обработки натуральных данных и др. С другой стороны, проектные и шахтостроительные организации получают доступ к новейшим разработкам и проектным методам, в частности на основе BIM-технологий [6–12]. Также появляется возможность привлечения на работу квалифицированных выпускников вузов, предварительно прошедших у них практику.

Рассмотрим конкретные примеры использования передовых научных разработок при проектировании и строитель-

стве вертикальных стволов в рамках такого взаимодействия.

В 2013–2014 гг. разработан и реализован проект переармирования и сооружения камер загрузочных устройств в действующем скиповом стволе «Узельгинского» рудника.

Пройденный ствол закреплен монолитной бетонной крепью толщиной 300 мм. Диаметр ствола в свету – 6,0 м. Породы в зоне строительства отнесены к I категории устойчивости [1], средние по сечению ствола расчетные нормальные

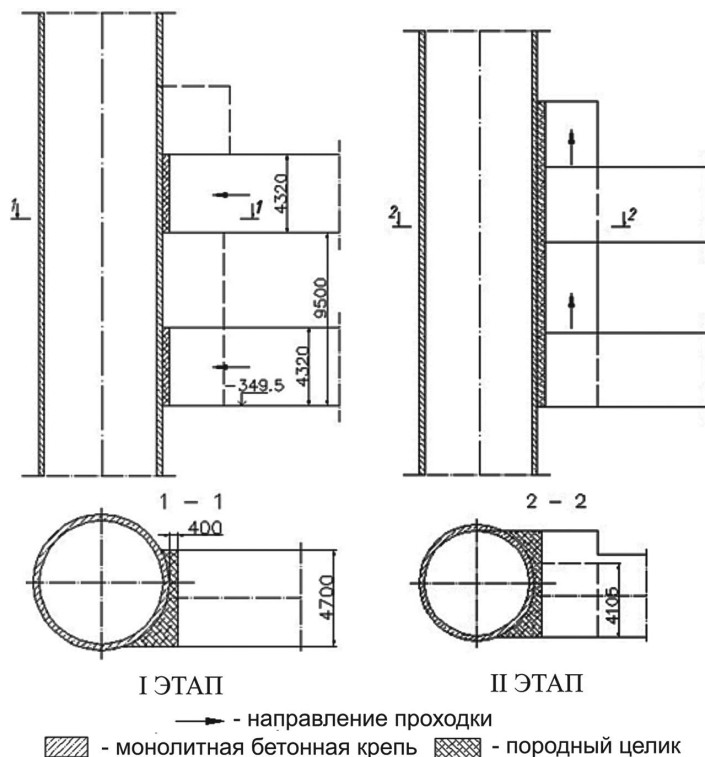


Рис. 2. Последовательность расчески камер загрузочных устройств скипового ствола рудника «Узельгинский»

тангенциальные напряжения в крепи не превышали 0,302 МПа.

Базовый проект строительства предусматривал полное перекрепление участка расчески приствольных камер, с последующим их сооружением из ствола с остановкой работы подъема (и соответственно всего предприятия).

Этот вариант не устраивал заказчика, в связи с чем предложена схема сооружения камер загрузочных устройств с действующего горизонта. Работы при этом выполняются одновременно с перearмированием ствола.

На рис. 2 представлена последовательность выполнения работ.

Схема реализуется в несколько этапов.

Сначала в направлении к стволу проходятся две подводящие выработки с оставлением породного целика толщиной 400 мм.

На следующем этапе снизу-вверх сооружается гезенк с последующим расширением до проектных размеров камеры.

На третьем и четвертых этапах аналогично сооружается противоположная камера загрузочных устройств.

После сооружения камер производится разборка целика и окончательное оконтуривание стенок камер.

При использовании этой схемы достигается практически полная независи-

мость проходческих работ по сооружению камер и работ в стволе.

Для оценки изменения напряженно-деформированного состояния системы крепь — массив в период проходки камер выполнено математическое моделирование рассматриваемого участка на каждом этапе строительства, что позволило получить динамическую картину развития напряжений и деформаций на исследуемом участке.

На основе полученных данных были разработаны рекомендации по усилению крепи ствола в зоне проходки приствольных выработок, а также анкерному упрочнению окружающих пород. Предложено инновационное решение по усилению участка крепи ствола в зоне влияния приствольных выработок высокопрочным углепластиковым холстом, который работает как арматура растянутой зоны в железобетонной конструкции. Установленная на основе экспериментальных данных зависимость между коэффициентом увеличения несущей способности крепи и процентом армирования приведена на рис. 3.

Экономический эффект от внедрения нового варианта проекта составил около 50 млн руб. за счет снижения себестоимости работ и сроков строительства.

Сотрудниками ЮРГПУ(НПИ) и «НТЦ «Наука и практика» разработан проект строительства скипового ствола № 1 гор-

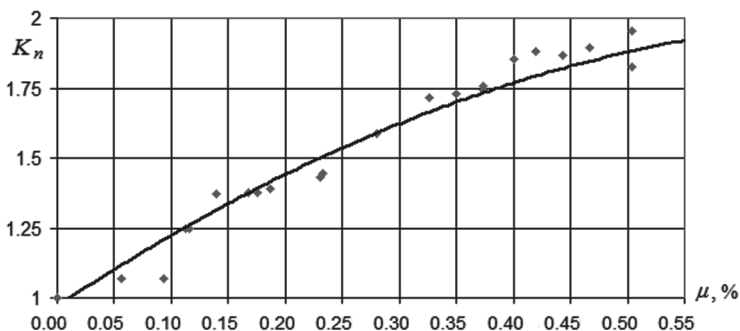


Рис. 3. Зависимость коэффициента увеличения несущей способности крепи от процента армирования

но-обогажительного комбината «Гарлыкского месторождения калийных солей». Ствол имеет глубину 364,4 м и диаметр в свету 6,5 м. Вмещающие породы отнесены к IV категории устойчивости по [1] и представлены преимущественно каменными солями, сивинитами, аргиллитами и алевролитами малой прочности. Ситуация осложняется расположением ствола в сейсмически активном районе с величинами расчетных нагрузок на крепь от сейсмического воздействия в пределах 0,03–0,28 МПа и наличием 5 водоносных горизонтов.

По первоначальному проекту предусматривалось строительство ствола буровзрывным способом. В качестве основного вида крепи принята многослойная крепь на основе чугунных тубингов толщиной до 1,5 м. В зонах водоносных горизонтов запроектированы работы по цементации пород.

Проведенный анализ проектных решений показал, что они характеризуются высокой стоимостью и трудоемкостью работ, большой продолжительностью строительства. В связи с этим был разработан альтернативный проект, предусматривающий сооружения ствола бурением.

При применении данной технологии можно выделить 3 основные стадии проходки ствола. На первой стадии происходит бурение ствола, при этом ствол заполнен глинистым раствором с объемным весом $\gamma_w = 0,01 - 0,013 \text{ МН/м}^3$. На второй стадии в стволе монтируется колонна крепи и зазор между крепью и породой цементируется. На третьей стадии происходит откачка раствора из ствола, после чего производятся работы по расчистке приствольных выработок и армированию.

В результате расчета при учете технологии работ разработана конструкция крепи, представленная на рис. 4.

Основную несущую функцию выполняет трехслойная сталебетонная крепь,

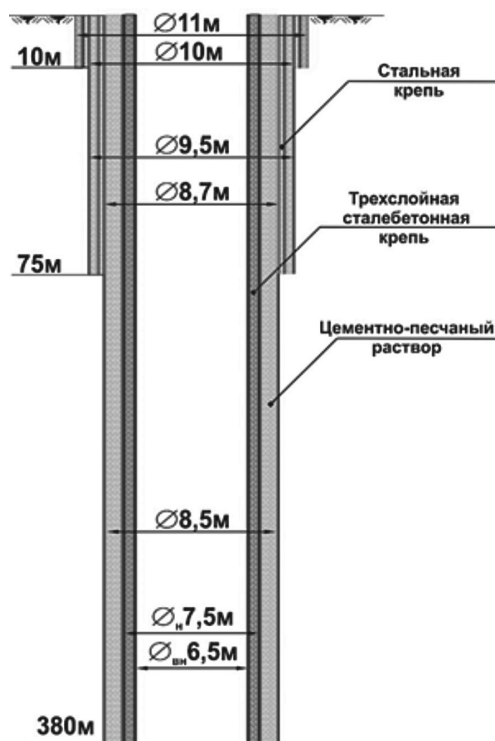


Рис. 4. Конструкция крепи скипового ствола № 1 горно-обогажительного комбината Гарлыкского месторождения калийных солей, сооружаемого способом бурения

усиливаемая шпангоутами из швеллера 20П. С целью снижения материальных затрат выполнен комплекс исследований по оптимизации шага их установки. В расчет был введен коэффициент усиления, учитывающий влияние шпангоутов на снижение напряжений в стальной крепи, для шпангоутов из швеллера 20П он определяется по графику (рис. 5) в зависимости от шага их установки.

С целью сокращения продолжительности строительства разработана технология монтажа жесткой армировки одновременно с установкой колонны крепи. Сбор металлоконструкций производится на специальном стенде рядом со стволом, после чего звено крепи с армировкой на платформе подается к стволу, стыкуется с колонной и опускается в ствол на высоту звена. Точность монтажа конт-

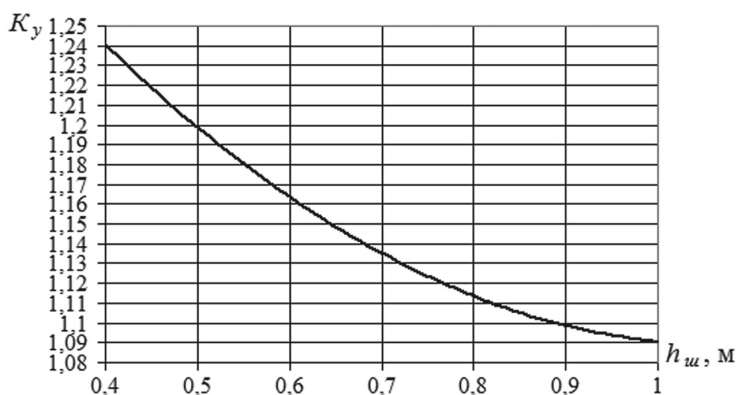


Рис. 5. График для определения коэффициента усиления стальной крепи шпангоутами

ролируется направляющим устройством, устроенным в крепи устья.

Разработанные технические и технологические решения позволяют до 30% уменьшить себестоимость работ и практически вдвое сократить сроки строительства.

Максимальная эффективность деятельности рассматриваемого объединения организаций и повышение их авторитета могут быть достигнуты при создании единой юридической структуры, что

позволит ей участвовать в конкурсах на все виды работ. Однако это встречает серьезные трудности из-за разных форм собственности, бюрократических преград и несовершенства Российского законодательства. На наш взгляд целесообразно создать правовые и материальные основы для возникновения таких объединений на базе научно-исследовательских вузов, что позволит им гораздо эффективнее развиваться и реализовывать результаты своей деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плешко М. С. О взаимном влиянии факторов, определяющих эффективность строительства и эксплуатации вертикального ствола // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — № 8. — С. 53 — 56.
2. Pleshko M. S., Stradanchenko S. G., Maslennikov S. A., Pashkova O. V. Study of technical solutions to strengthen the lining of the barrel in the zone of influence of construction near-wellbore production // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 10. No. 1, January 2015, pp. 14—19.
3. Каледин О. С. Инновационные технологии строительства сверхглубоких шахтных стволов // Горный журнал. — 2014. — № 4. — С. 77—81.
4. Казикаев Д. М., Сергеев С. В. Диагностика и мониторинг напряженного состояния крепи вертикальных стволов. — М.: Горная книга, 2011. — 244 с.
5. Страданченко С. Г., Плешко М. С., Армейсков В. Н. О необходимости проведения комплексного мониторинга подземных объектов на различных стадиях жизненного цикла // Инженерный вестник Дона. — 2013. — № 4. — URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1994.
6. Zhang X., Han Y., Liu S., Su C. Deformation prediction analysis model for the mine shaft-wall. Liaoning Gongcheng Jishu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban). Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition), 2014, no 33 (8), pp. 1070—1073.
7. Daller J., Žibert M., Exinger C., Lah M. Implementation of BIM in the tunnel design — Engineering consultant's aspect. Geomechanics and Tunnelling. 2016. Vol. 9. pp. 674 — 683.
8. Wang J., Hao X., Gao X. The application of BIM technology in the construction of Hangzhou Zizhi tunnel. 3rd International Conference on Mechatronics, Robotics and Automation (ICMRA 2015). pp. 195—204.

9. *Jian-ping Z., Ding L., Jia-rui L.* Application of BIM in engineering construction [J]. *Construction Technology*, 2012, 41(371). pp. 10–14.
10. *You-quan X., Liu Xin L.* Study on flat organization structure of the large construction projects based on BIM[J]. *Journal of Engineering Management*, 2013, 27(1). pp. 44–47.
11. *Heikkilä R., Kaaranka A., Makkonen T.* Information Modelling based Tunnel Design and Construction Process. The 31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC 2014). pp. 672–675.
12. *Shen X., Lu M., Mao S., Wu X.* Integrated Approach to Machine Guidance and Operations Monitoring in Tunnel Construction The 31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC 2014). pp. 103–109. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Плешко Михаил Степанович — доктор технических наук, доцент, профессор, e-mail: mixail-stepan@mail.ru, Ростовский государственный университет путей сообщения,
Насонов Андрей Андреевич — кандидат технических наук, доцент, Шахтинский институт (филиал) Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова,
*Ягодкин Феликс Игнатьевич*¹ — доктор технических наук, профессор,
*Привалов Александр Алексеевич*¹ — доктор технических наук, профессор,
¹ Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 8, pp. 179–186.

UDC 622.258: 622.012

M.S. Pleshko, A.A. Nasonov, F.I. Yagodkin, A.A. Privalov

ISSUES OF IMPROVEMENT OF VERTICAL SHAFT PLANNING, CONSTRUCTION AND RECONSTRUCTION EFFICIENCY

A distinctive feature of the penetration of modern shafts is a significant increase in the weight of the stem complex, power-to-weight ratio and other parameters of penetration. At the same time, the speed of construction of the shafts decreases with increasing depth. In addition to objective mining and geological prerequisites, one of the reasons for the low technical and economic efficiency of the construction and operation of the shafts is the use of well-established approaches to their design and construction, which are not always adequate to changing conditions.

The solution of this problem is possible in the case of effective cooperation between all participants in the process of development and implementation of geotechnologies. So, thanks to close interaction of scientists, designers and mine-builders of the Rostov region, a number of unique projects were developed and implemented. These include the project of reconstruction of the skip shaft of the Uzelginsky mine. Within the framework of the project, a scheme for constructing the chambers of loading devices from the active horizon was developed. The work is carried out simultaneously with re-arming the shaft. An innovative solution is proposed to strengthen the shaft lining section in the zone of influence of the trenches with high-strength carbon fiber canvas, which works as a reinforcement of a stretched zone in a reinforced concrete structure.

Employees of the South-Russian State Polytechnic University (NPI) and the Scientific and Technical Center «Nauka i praktika» developed a project for the construction of the skip shaft No. 1 of the ore-dressing combine Garlytsky potash deposit in difficult mining and geological conditions by drilling. A three-layer steel-reinforced concrete lining reinforced with frames from the channel is proposed. In order to reduce material costs, a set of studies to optimize the step of their installation was carried out. The technology of mounting a rigid reinforcement was developed simultaneously with the installation of a three-layered lining column. Collection of metal structures is carried out on

a special stand next to the shaft, after which the link of the lining with reinforcement on the platform is fed to the shaft, joins the column and falls into the shaft at the design mark.

Key words: mine shaft, engineering-geological conditions, design, excavation, reconstruction, lining, reinforcement.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-8-0-179-186

AUTHORS

Pleshko M.S., Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Professor, e-mail: mixail-stepan@mail.ru, Rostov State Transport University, 344038, Rostov-on-Don, Russia, Nasonov A.A., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Shakhty Institute (branch) of Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), 346500, Shakhty, Russia, Yagodkin F.I.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Privalov A.A.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, ¹ M.I. Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), 346428, Novocherkassk, Russia.

REFERENCES

1. Pleshko M. S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 8, pp. 53–56.
2. Pleshko M. S., Stradanchenko S. G., Maslennikov S. A., Pashkova O. V. Study of technical solutions to strengthen the lining of the barrel in the zone of influence of construction near-wellbore production. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. Vol. 10. No. 1, January 2015, pp. 14–19.
3. Kaledin O. S. *Gornyy zhurnal*. 2014, no 4, pp. 77–81.
4. Kazikaev D. M., Sergeev S. V. *Diagnostika i monitoring napryazhennogo sostoyaniya krepki vertikal'nykh stvolov* (Diagnostics and monitoring of the stress state of lining vertical shafts), Moscow, Gornaya kniga, 2011, 244 p.
5. Stradanchenko S. G., Pleshko M. S., Armeyskov V. N. *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2013, no 4, available at: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1994.
6. Zhang X., Han Y., Liu S., Su C. Deformation prediction analysis model for the mine shaft-wall. Liaoning Gongcheng Jishu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban). *Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition)*, 2014, no 33 (8), pp. 1070–1073.
7. Daller J., Žibert M., Exinger C., Lah M. Implementation of BIM in the tunnel design Engineering consultant's aspect. *Geomechanics and Tunnelling*. 2016. Vol. 9. pp. 674–683.
8. Wang J., Hao X., Gao X. The application of BIM technology in the construction of Hangzhou Zizhi tunnel. *3rd International Conference on Mechatronics, Robotics and Automation (ICMRA 2015)*. pp. 195–204.
9. Jian-ping Z., Ding L., Jia-rui L. Application of BIM in engineering construction [J]. *Construction Technology*, 2012, 41(371). pp. 10–14.
10. You-quan X., Liu Xin L. Study on flat organization structure of the large construction projects based on BIM [J]. *Journal of Engineering Management*, 2013, 27(1). pp. 44–47.
11. Heikkilä R., Kaaranka A., Makkonen T. Information Modelling based Tunnel Design and Construction Process. *The 31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC 2014)*. pp. 672–675.
12. Shen X., Lu M., Mao S., Wu X. Integrated Approach to Machine Guidance and Operations Monitoring in Tunnel Construction *The 31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC 2014)*. pp. 103–109.

