

Е.В. Федорова, Б.Ю. Давиденко, А.Э. Дилюра

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА ПРИ СООРУЖЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСТОЙЧИВЫХ ГРУНТАХ

Увеличение объемов строительства в скальных районах России, таких как Краснодарский край, Крым, неизбежно ведет и к совершенствованию технологии освоения подземных пространств в устойчивых грунтах. Временное крепление выработок при проходке сплошным забоем или уступным способом в скальных грунтах трещиноватых, прочных и средней прочности надлежит выполнять с применением анкерной или набрызг-бетонной крепей или их сочетаний. Инновационный метод применения сталя-фибробетона нанесением непосредственно на породу позволяет сохранить устойчивое состояние массива вокруг горной выработки. Эффективность применения сталя-фибробетона обусловлена частичным или полным отказом от армирования сетками из стержневой арматуры и, соответственно, сокращением сроков строительства и трудозатрат, увеличением сроков эксплуатации из-за повышения трещиностойкости, износостойкости и коррозийной стойкости. Все это позволяет получить суммарный экономический эффект. Основная идея работы состоит в использовании закономерностей распределения напряжений в горном массиве для обоснования эффективных методов и способов управления геомеханическими процессами при разработке подземных сооружений, с применением инновационной технологии крепления выработок сталя-фибробетоном. Проанализированы процессы в скальных грунтах, возникающие в результате воздействия различных способов проходки. Рассмотрены различные виды фибробетонов и их свойства. Обосновано преимущество применения сталя-фибробетонных материалов.

Ключевые слова: горный способ, скальный грунт, проходка подземной выработки, напряженно-деформированное состояние массива, сталя-фибробетон.

Горный способ заключается в разработке всего сечения выработки за один прием или по частям с заменой вынимаемой породы временной крепью с последующим возведением постоянной обделки из монолитного бетона или из железобетонных элементов. Плотный контакт обделки с окружающим массивом грунта обеспечивается нагнетанием за обделку цементного раствора [1].

Существующие основные способы производства работ по сооружению выработки горным способом могут быть подразделены на три группы:

• к первой группе относят способы, при которых сечение выработки целиком освобождают от породы, ис-

пользуя варианты полностью раскрытоого сечения (поточный и кольцевой варианты), сплошного забоя, ступенчатого забоя, центральной штолни, подсводного разреза, нижнего и верхнего уступов, после чего в выработке полного сечения сооружают стены и свод обделки;

• ко второй группе относят способы, когда сначала раскрывают и закрепляют калотту, в которой возводят свод, опираемый непосредственно на породу, применяя варианты проходки двухштольней, одноштольней и с опережающей калоттой);

• в третьей группе способов стены обделки сооружают в штольнях, после чего раскрывают калотту, в ко-

торой возводят свод, опираемый на стены (способ опорного ядра).

Способы проходки выработок и средства механизации определяют в зависимости от назначения сооружения, размеров и формы поперечного сечения, инженерно-геологических условий и др. на основании результатов технико-экономического сравнения вариантов [6].

До начала основных работ по сооружению выработок при необходимости следует производить проходку передовой штольни в пределах всего сечения для обеспечения осушения выработки и отвода самотеком подземных вод, улучшения ее вентиляции, организации транспортной связи между порталыми площадками и уточнения инженерно-геологических условий.

Способ сплошного забоя следует применять для проходки выработок высотой до 10 м с монолитной обделкой в скальных грунтах с коэффициентом крепости по Протодьяконову не менее 4. При этом временное крепление выработки при проходке в скальных (невыветрелых) грунтах с коэффициентом крепости от 12 и выше не требуется, а при проходке скальных выветрелых и сильнотрешиноватых грунтов применение временной крепи обязательно.

Уступный способ следует применять для проходки выработок высотой более 10 м, сооружаемых в скальных грунтах с коэффициентом крепости не менее 4 и для проходки выработок высотой менее 10 м в скальных грунтах с коэффициентом крепости от 2 до 4. Проходку выработок следует осуществлять преимущественно с нижним уступом.

Способ опертого свода допускается применять при сооружении выработок или их участков длиной до 300 м в дисперсных грунтах типа твердых глин и суглинков, в сцемен-

тированных крупнообломочных и других грунтах, а также в скальных грунтах с коэффициентом крепости от 1 до 4, способных воспринять давление от пят свода обделки с учетом всех нагрузок, действующих на свод. При сооружении выработок в необводненных грунтах способ опертого свода должен применяться преимущественно по одноштольной схеме. Выработки в водонасыщенных грунтах следует сооружать по двухштольной схеме.

Верхняя и нижняя штольни должны соединяться между собой грунто-спусками (фурнелями), а также на склонными стойками (бремсбергами).

При проходке тоннелей способом опертого свода раскрытие калотт надлежит вести отдельными участками (кольцами), длина которых устанавливается в зависимости от инженерно-геологических условий и не должна превышать 6,5 м.

Способ опорного ядра следует применять при сооружении выработок или их участков длиной до 300 м в неводонасыщенных глинистых грунтах, не способных воспринимать давление от свода обделки. В этом случае стены возводят в штольнях, после чего раскрывают калотту, в которой возводят свод, опираемый на стены.

При сооружении тоннелей сечением более 40 м² допускается предварительная проходка по оси выработки нижней транспортной штольни.

Боковые штольни для возведения стен при проходке выработок следует, по возможности, разрабатывать на всю длину сооружаемого участка выработки [5].

Разработку грунта в забое в зависимости от инженерно-геологических условий, размеров поперечного сечения и принятого способа проходки производят следующими способами:

- при проходке сплошным забоем – буровзрывным способом с использо-

Выработки	Значение перебора грунта, мм, при грунтах с коэффициентом крепости		
	от 1 до 4	от 4 до 12	от 12 до 20
Тоннели	100	150	200
Стволы и штолни	75	75	100

ванием буровой техники и уборкой грунта породопогрузочными машинами или экскаваторами;

- при проходке уступным способом – верхнего уступа буровзрывным способом с использованием самоходных бурильных установок или горно-проходческими комбайнами, а нижнего уступа – буровзрывным способом с использованием самоходных бурильных установок и уборкой грунта экскаваторами или породопогрузочными машинами;
- при проходке выработки по частям (способами опертого свода и опорного ядра) – в калотте и боковых штроссах – отбойными молотками и пневматическими лопатами; в ядре – тоннельными экскаваторами или буровзрывным способом с уборкой грунта малогабаритными породопогрузочными машинами [4].

В последнее время работы по разработке грунта в забое выработок и вывозе на поверхность земли ведутся современными автоматизированными и механизированными средствами.

В настоящее время создаются и внедряются новые более эффективные способы разработки грунта: гидравлический, пневматический, электрофизический, химический и др.

Эти способы могут быть применены самостоятельно или в сочетании с механическими способами.

Выбор средств механизации следует производить из условий обеспечения поточного процесса при наименьших затратах и сроках продолжительности строительства.

Переборы грунта против проектного поперечного сечения выработки

в скальных грунтах в случаях разработки выработок буровзрывным способом без применения метода контурного взрывания не должны превышать значений, указанных в таблице [3].

В дисперсных грунтах перебор грунта против проектного сечения при разработке выработок механическими средствами не должен превышать 50 мм. В подошве выработки без обратного свода и при разработке лотка под обратный свод в дисперсных грунтах переборы грунта не допускаются [3].

Способ заполнения пустот, образовавшихся от переборов грунта против проектного сечения, должен устанавливаться проектом производства работ.

Временное крепление выработок при проходке сплошным забоем или уступным способом в скальных грунтах трешиноватых, прочных и средней прочности надлежит выполнять с применением анкерной или набрызгобетонной крепей или их сочетаний.

Использование арочной крепи в качестве временного крепления допускается при технико-экономическом обосновании. В этих случаях арочную и анкерно-арочную крепь допускается применять в трешиноватых скальных грунтах с коэффициентом крепости до 8, а также в зонах с текtonическими нарушениями.

Набрызг-бетон следует применять в качестве временной крепи при проходке в скальных трешиноватых грунтах, не проявляющих горное давление. При проходке выработок в скальных трешиноватых и выветрелых грунтах, проявляющих горное давление, следу-

ет применять набрызг-бетон, армированный металлической сеткой в сочетании с анкерной крепью [5].

Число слоев набрызг-бетона устанавливается в зависимости от инженерно-геологических условий и принятой проектом толщины набрызг-бетона.

Анкерная крепь должна применяться для временного крепления выработок на период производства работ до возведения постоянной обделки в скальных трещиноватых грунтах с коэффициентом крепости от 4 и выше. При этом применяют железобетонные, полимербетонные или металлические анкеры. Применение анкерной крепи в более слабых грунтах должно быть обосновано натурными исследованиями [4].

Горные способы работ получили совершенствование в разных странах.

1) В Японии проходку тоннелей в крепких скальных породах выполняют с забуриванием в забое системы щелей. Для этого по контуру тоннельной выработки или непосредственно на поверхности лба забоя устраивают разгружающие щели, которые ослабляют массив и облегчают разработку его взрывным способом.

Данную технологию целесообразно применять в крепких скальных породах, сохраняющих устойчивость опережающих щелей на период осуществления основных горнодобывающих операций, включенных в технологический цикл.

2) В КНР в скальных породах применяют способ центральной штольни. При этом способе горнодобывающие работы выполняют с предварительной проходкой центральной пилот-штольни, из которой забуривают веерные шпуры. Чтобы повысить степень устойчивости забоя и избежать загромождения пилот-штольни взорванной породой, необходимо создавать опережение нижней части забоя,

т.е. устраивать своеобразный верхний уступ, что достигается определенной последовательностью взрывания верхних шпуров. Такая технология буровзрывных работ имеет следующие достоинства:

- возможность детального изучения геологических условий ведения работ;
- ускорение буровзрывных работ за счет ведения их на широком фронте пилот-штольни;
- возможность избирательного закрепления грунтов.

Эта технология наряду с ускорением темпов проходки позволяет проводить эвакуацию породы со снижением стоимости горнодобывающих работ.

3) В зарубежной практике с применением горного способа работ построено много подземных сооружений (подземных гаражей и автостоянок, подземных убежищ, хранилищ и др.).

Одно из возможных направлений при совершенствовании тоннельных конструкций – применение конструкционных материалов, обладающих повышенными характеристиками прочности, трещиностойкости, позволяющими свести к минимуму или исключить полностью дефекты в элементах конструкции, а также улучшить другие эксплуатационные качества, такие как коррозионную стойкость, огнестойкость и др.

По этому способу возводят обделку замкнутого очертания. Обделка выполняется из фибробетона толщиной, требующейся исходя из расчета в конкретных условиях.

В мировой практике перспективным и интенсивно развивающимся направлением совершенствования железобетонных конструкций является применение фибробетонов (ФБ) – композитных материалов на основе бетона, в которых в качестве армирования используется специально изготовленное волокно – фибра, равнo-

мерно и дисперсно распределяемая в объеме бетона-матрицы.

Фибробетоны (ФБ) нашли широкое применение в конструкциях промышленных полов, банковских хранилищ, дорожных и аэродромных покрытий, меньше ФБ распространены в областях строительства мостов и тоннелей.

Особую важность представляют исследования сталефибробетонов (СФБ) – фибробетонов на основе стальной фибры, которые, как показал анализ литературных источников, обладают наибольшей несущей способностью, прочностью и трещиностойкостью по сравнению с другими видами ФБ на основе неметаллической фибры [2].

Использование сталефибробетона для сооружения подземных сооружений позволяет:

- увеличить диапазон применения горнопроходческого способа работ в сложных инженерно-геологических

условиях, в том числе в трещиноватых грунтах, в которых затруднительно применение традиционного горного способа производства работ;

- увеличить несущую способность крепи без ее утолщения за счет распределения фибры с помощью магнитного поля в наиболее напряженные части массива разрабатываемой породы;

- возводить подземные сооружения практически любой формы и размеров поперечного сечения;

- производить разработку породы как буровзрывным способом, так и механизированными способами с применением экскаваторов;

- сочетать проходку со специальными способами упрочнения грунтов осушением, закреплением инъекционными методами, замораживанием и др.;

- обеспечивать снижение стоимости строительства до 10% по сравнению с другими способами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазов Ю.Н., Антонов О.Ю. Расчет круговой тоннельной обделки как систем брусьев на упругом основании // Гидротехническое строительство. – 1969. – № 1.
2. Рusanov B.E. К оценке эффективности применения фибробетона в сборных тоннельных обделках. // Транспортное строительство. – 2010. – № 3. – С. 13–16.
3. Антонов О.Ю. Определение нагрузки, напряженно-деформированного состояния и методы расчета чугунных тоннельных обделок отечественных метрополитенов / Проблемы надежности и эффективности тоннельных конструкций. Сборник трудов ЦНИИС, вып. 254. – М.: ЦНИИС, 2009. – 138 с.
4. Антропова Е.А., Бегун И.А. Оценка эффективности и долговечности новых конструктивно-технологических решений транспортных сооружений / Сборник трудов ЦНИИС, вып. 220. – М.: ЦНИИС, 2004.
5. Афендикив П.С., Манюкова Н.Е. Моделирование напряженно-деформированного состояния тоннельных конструкций / Сборник трудов ЦНИИС, вып. 81. – М.: ЦНИИС, 1974.
6. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений. – М.: Недра, 1982.
7. Дробышевский Б.А. Исследование усадки и ползучести сталефибробетона.
8. СП 52-104-2006. Сталефибробетонные конструкции. – М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2007. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Федорова Елена Владимировна – аспирант, e-mail: belu4onok@yandex.ru,
Давиденко Борис Юрьевич – кандидат технических наук, профессор,
e-mail: bdavidenko@mail.ru,
Дидюра Анастасия Эдуардовна – студент,
МГИ НИТУ «МИСиС».

EFFICIENCY OF APPLICATION OF STEEL-FIBRECONCRETE WHEN BUILDING UNDERGROUND-GOVERNMENTAL STRUCTURES IN SUSTAINABLE SOIL

Fedorova E.V.¹, Graduate Student, e-mail:belu4onok@yandex.ru,
Davydenko B.Y.¹, Candidate of Technical Sciences, Professor, e-mail: bdavidenko@mail.ru,

Dedura A.E.¹, Student,

¹ Moscow Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia.

The increase in construction in rocky regions, such as Krasnodar edge, Crimea, inevitably leads to the improvement of technology of development of underground space in sustainable soils. Temporary mount excavations at penetration continuous slaughter or step by the way in rocky soil fractured, average strength and strong to be accomplished with the use of the anchor or spraying concrete supports, or their combinations. Innovative method of application of steel-fibre concrete application directly on the breed allows you to keep a steady state mass around mine workings. Efficiency of application of steel-fibre concrete is due to a partial or full waiver of reinforcing grids from the bar reinforcement and, accordingly, reduction of construction time and effort, increase of terms of operation due to the increase crack resistance, wear resistance and corrosion resistance. The basic idea consists in using the regularities of the distribution of stresses in the mountain for a substantiation of effective methods and ways of managing geomechanical processes in the development of underground constructions with application of innovative technologies of mounting working fibre concrete. The article analyses the processes in rocky soil, resulting from exposure to different ways of penetration. Substantiated the advantage of applying steel-fibre materials.

Key words: mountain way, rocky soil, digging underground mine, stressed-deformed state of a massif, steel-fibre-concrete.

REFERENCES

1. Avazov Yu.N., Antonov O.Yu. Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo. 1969, no 1.
2. Rusanov V.E. Transportnoe stroitel'stvo. 2010, no 3, pp. 13–16.
3. Antonov O.Yu. Problemy nadezhnosti i effektivnosti tonnel'nykh konstruktseii. Sbornik trudov TsNIIS, vyp. 254 (Problems of reliability and efficiency of tunnel structures. Scientific works CNIIS, issue 254), Moscow, TsNIIS, 2009, 138 p.
4. Antropova E.A., Begun I.A. Sbornik trudov TsNIIS, vyp. 220 (Scientific works CNIIS, вып. 220), Moscow, TsNIIS, 2004.
5. Afendikov L.S., Manyukova N.E. Sbornik trudov TsNIIS, vyp. 81 (Scientific works CNIIS, вып. 81), Moscow, TsNIIS, 1974.
6. Bulychev N.S. Mekhanika podzemnykh sooruzhenii (Mechanics of underground structures), Moscow, Nedra, 1982.
7. Drobyshevskii B.A. Issledovanie usadki i polzuchesti stalefibrobetona (Study shrinkage and creep of the steel fibre concrete).
8. SP 52-104-2006. Stalefibrobetonnye konstruktseii (JV 52-104-2006. Fibre concrete structures), Moscow, FGUP «NITs «Stroitel'stvo», 2007.



В инженерной среде наибольшего успеха добивается тот, кого родители научили упорно самостоятельно трудиться.