УДК 691.3:624.19

Фам Дик Тханг, Б.И. Булгаков*, Танг Ван Лам*
*НИУ «МИСиС», *НИУ МГСУ*

ПРИМЕНЕНИЕ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО ТОРКРЕТ-БЕТОНА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ТУННЕЛЕЙ МЕТРО

Рассмотрены перспективы применения торкрет-бетона на основе мелкозернистой бетонной смеси для строительства метро. Такое его использование обладает следующими преимуществами: происходит увеличение темпов строительства за счет высокой скорости подачи быстро затвердевающей бетонной смеси, имеющей хорошую адгезию к другим материалам; получаемый бетон благодаря плотной структуре обладает высокой водонепроницаемостью, поэтому может быть использован при строительстве подземных сооружений, испытывающих высокое давление грунтовых вод; используя арматурную сетку, появляется возможность создавать в подземных сооружениях тонкостенные купольные своды, а также получать армированный слой большой толщины с высокой прочностью и хорошей адгезией к горным породам за счет установки металлической сетки, стальной рамы, анкеров и введения диспергированных стальных или углеродных волокон, что имеет большую перспективу при строительстве туннелей больших размеров.

Ключевые слова: торкретирование, торкрет-бетон, строительство метро, ремонтная работа, мелкозернистая бетонная смесь, торкрет-оборудование, сухое, полусухое и мокрое торкретирование

Торкрет-бетон хорошо поддерживает арки туннелей и поверхность склонов из грунтов и горных пород за счет одновременного их укрепления и защиты, не требует опалубки, его транспортировка к рабочему участку не встречает затруднений, поскольку гибкий транспортный трубопровод легко проходит через узкие места. Поэтому производство работ по торкретированию может осуществляться не только в свободном пространстве, но и в стесненных условиях, включая подземные туннели [1—3].

Во Вьетнаме торкрет-бетон был использован при строительстве туннельных гидроэлектростанций и для защиты поверхности скальных пород в подземных сооружениях в различных районах страны, например, при строительстве гидроэлектростанций Сон Ла и на реке Да, автодорожных туннелей Тху Тхием в Хошимине и через перевал Хай Ван. В краткосрочной перспективе торкрет-бетоны будут использованы при строительстве метро в столице страны Ханое и многих других важных подземных туннелей транспортной системы больших городов [4—9].

Применение торкрет-бетона на основе мелкозернистой бетонной смеси при строительстве метро открывает следующие перспективы:

- создание бетонного слоя с тонкозернистой однородной высококачественной структурой;
- сочетание низкого водоцементного отношения (В/Ц) бетонной смеси с требуемой удобоукладываемостью благодаря высокой тиксотропии;

© Фам Дик Тханг, Булгаков Б.И., Танг Ван Лам, 2016

• создание тонкостенных купольных сводов подземных сооружений с использованием арматурной сетки;

• получение прочной бетонной корки переменной толщины;

• сглаживание неровностей на поверхности путем набрызга мелкозернистого бетонного слоя;

• получение армированного слоя торкрет-бетона толщиной 5…10 см и более, имеющего высокую прочность и хорошую адгезию к горным породам за счет использования металлической сетки, стальной рамы, анкеров и диспергированных стальных или углеродных волокон, что может быть применено при строительстве туннелей больших размеров;

• получаемый бетон обладает хорошей водонепроницаемостью, поэтому может быть использован при строительстве подземных сооружений, испытывающих высокое давление грунтовых вод;

• широкое применение местных материалов и, как правило, более низкая себестоимость по сравнению с классическим крупнозернистым бетоном.

Высококачественные мелкозернистые бетоны, структура которых с целью улучшения эксплуатационных показателей модифицирована органоминеральными добавками и тонковолокнистыми мелкодисперсными наполнителями, имеют хорошие перспективы использования для строительства объектов различного назначения, в т.ч. и подземных сооружений метро.

Кроме того, модифицированные высококачественные мелкозернистые бетоны из-за повышенной плотности структуры заметно снижают скорость коррозии стальной арматуры и тем самым повышают коррозионную стойкость и увеличивают долговечность железобетонных конструкций на их основе [10—20].

Поэтому высококачественный мелкозернистый бетон представляет собой современный, весьма перспективный и вполне пригодный материал для строительства туннелей метро и других специальных подземных сооружений, а также для возведения небоскребов с каркасом из монолитного бетона, железобетонных платформ для добычи нефти и газа на океанических шельфах и создания подземных городов.

В настоящее время торкретирование производится тремя основными методами: сухим, полусухим и мокрым, также получившим название пневмобетонирования. Главные различия этих методов заключаются в степени влажности заполнителей, загружаемых в смеситель, количестве добавляемой воды или водных растворов химических добавок, определяющих консистенцию и влажность получаемой бетонной смеси, а также в способе ее транспортировки к месту применения.

Метод сухого торкретирования. При сухом торкретировании сырьевые компоненты (цемент, сухие заполнители и различные минеральные добавки, в т.ч. и дисперсно-волокнистые) загружаются в смеситель и с помощью сжатого воздуха подаются в сопло. В основании сопла сырьевые материалы смешиваются с водой или водным раствором, содержащим растворенные химические добавки-ускорители схватывания и твердения. После этого полученная бетонная смесь под действием воздуха с большой скоростью распыляется из сопла и уплотняется при соударении с торкретируемой поверхностью (рис. 1).

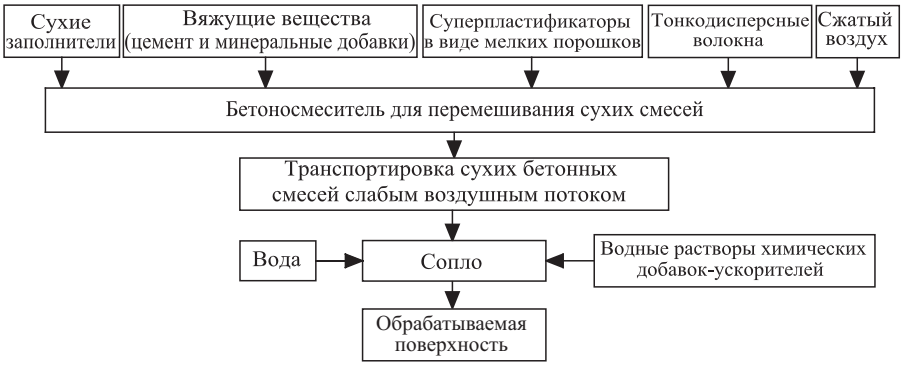

Рис. 1. Метод сухого торкретирования

Характеристики сухого торкретирования:

• низкое водоцементное отношение (возможно В/Ц < 0,2), так как вода нужна только для гидратации цемента, а не для увеличения подвижности бетонной смеси;

• высокая производительность;

• не требуется предварительное затворение водой;

• возможность подачи бетонной смеси на большое расстояние;

• высокая надежность и длительный срок безремонтной эксплуатации оборудования;

• простота технологического оборудования и легкость его очистки;

• редкое засорение шлангов.

Основными недостатками этого метода являются высокое пыле-образование, которое отрицательно влияет на окружающую среду и здоровье рабочих, а также вызывает большие потери сырья — в среднем до 20…30 %.

Метод полусухого торкретирования. При такой технологии используют заполнители при их естественной влажности 3…5 % или предварительно слегка увлажняют для уменьшения пылеобразования. Далее влажная сырьевая смесь загружается в бункер бетономешалки и за счет сжатого воздуха поступает в сопло, где смешивается с небольшим количеством воды или растворов добавок и затем подается на поверхность скальной породы. Технология и оборудование этого метода аналогично методу сухого торкретирования.

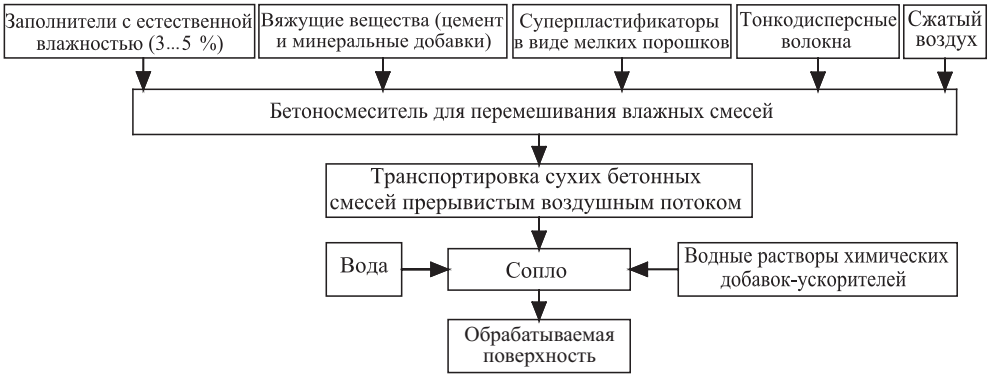

Рис. 2. Метод полусухого торкретирования

Этот метод уменьшает количество пыли, образующейся при подаче материалов в бункер смесителя (рис. 2).

Метод мокрого торкретирования. При мокром методе сырьевая смесь смешивается с водным раствором добавок в бункере бетоносмесителя, откуда насосом подается по шлангу в сопло и из него к месту укладки. Сжатый воздух, нагнетаемый компрессором, придает ускорение бетонной смеси и увлекает ее на подложку горной породы, при соударении с которой происходит уплотнение бетонной смеси (рис. 3).

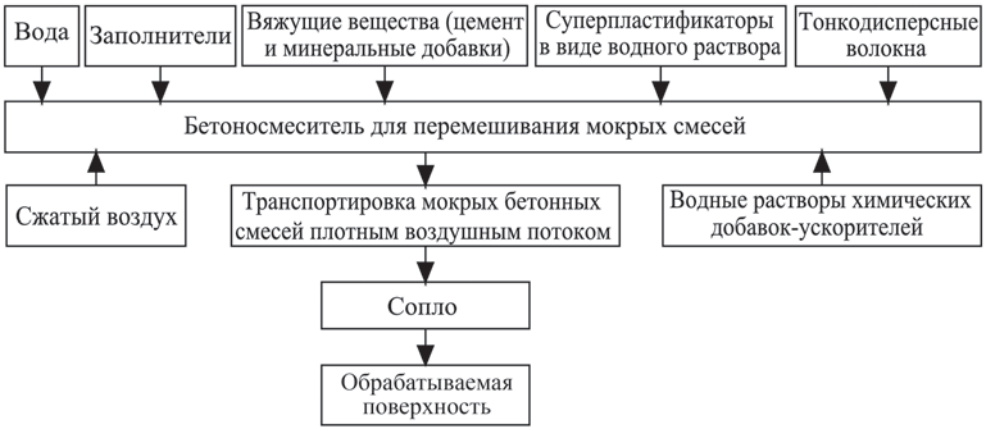

Рис. 3. Метод мокрого торкретирования

Преимущества мокрого торкретирования:

- высокая скорость подачи бетонной смеси с минимальным пылеобразованием и хорошим качеством получаемой поверхности по завершении работы;
- однородность получаемой бетонной смеси;
- снижение отскока бетонной смеси при торкретировании;
- возможность получения бетонов с высоким классом прочности на сжатие (до B90);
- большой объем сменной выработки за счет использования готовых смесей, привозимых автобетоновозами.

Главным недостатком этого метода торкретирования является опасность провисания нанесенного бетонного слоя при его набрызге на мокрую от грунтовых вод поверхность скальной породы. Кроме того, на качестве торкрет-бетона отрицательно сказывается засорение пневматических шлангов в ходе работы.

Во Вьетнаме при строительстве туннеля в ходе сооружения гидроэлектростанции Хоабинь был использован метод сухого торкретирования с применением российского оборудования марок C68 и BM70. В горнодобывающих районах страны применяются бетоносмесители YB50 и YJ65 китайского производства. При строительстве гидроэлектростанции Яли в центральной части страны было использовано оборудование для сухого и мокрого торкретирования марок Aliva 250 и Aliva 500 производства США с новым типом торсионного вала [5, 7].

Сегодня торкрет-бетон применяется не только для структурной защиты в виде временной опорной конструкции, но и для создания несущих конструкций — торкрет-бетонной корки в сложных системах горных пород (рис. 4).

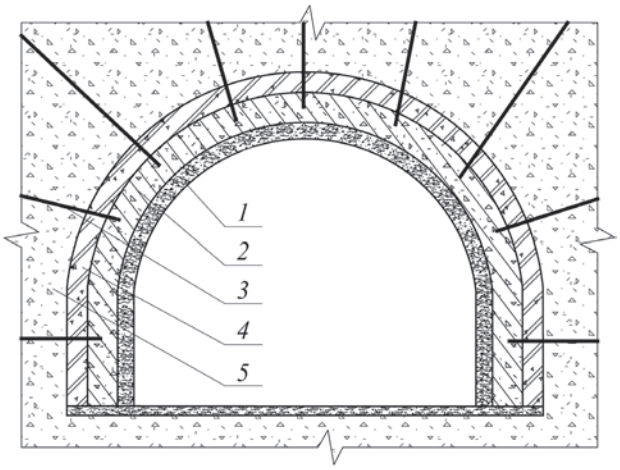

Рис. 4. Применение торкрет-фибробетонных защитных покрытий и торкрет-бетонной корки при сооружении туннелей: *1* — отделочный слой (мелкозернистый бетон); *2* — слой торкрет-фибробетона; *3* — анкеры; *4* — монолитный бетон, армированный стальной сеткой; *5* — горная порода

Предлагаемая технологическая схема получения торкрет-бетон из мелкозернистой бетонной смеси по мокрому методу, которая может быть использована при строительстве туннелей метро, приведена на рис. 5.

В соответствии с этой схемой технологические операции должны выполняться в следующей последовательности:

- смешивание золы рисовой шелухи (ЗРШ) и топливной золы-уноса (ЗУ) с цементом в двухвальном смесителе для перемешивания порошкообразных материалов до получения однородной сырьевой массы;
- смешивание полученной смеси с тонкодисперсными полипропиленовыми волокнами и песком в двухвальном смесителе для перемешивания сухих смесей до получения однородной смеси;
- смешивание сухого порошкообразного суперпластификатора Ace 388 с водой в количестве примерно 30 % общего объема для получения его раствора;
- параллельное смешивание сухой сырьевой композиции, состоящей из цемента, ЗУ, ЗРШ, тонкодисперсных волокон и песка, с остальным количеством воды в смесителе до получения влажной однородной сырьевой композиции;
- перемешивание полученной сырьевой смеси с приготовленным ранее раствором суперпластификатора в лопастном бетоносмесителе до получения однородной мелкозернистой бетонной смеси.

Затем готовая бетонная смесь подается насосом по шлангу в сопло к месту укладки. Сжатый воздух из воздушного компрессора, придавая ускорение бетонной смеси, увлекает ее на подложку из горной породы, при соударении с которой происходит уплотнение бетонной смеси и формирование слоя торкрет-бетона на поверхности свода туннеля.

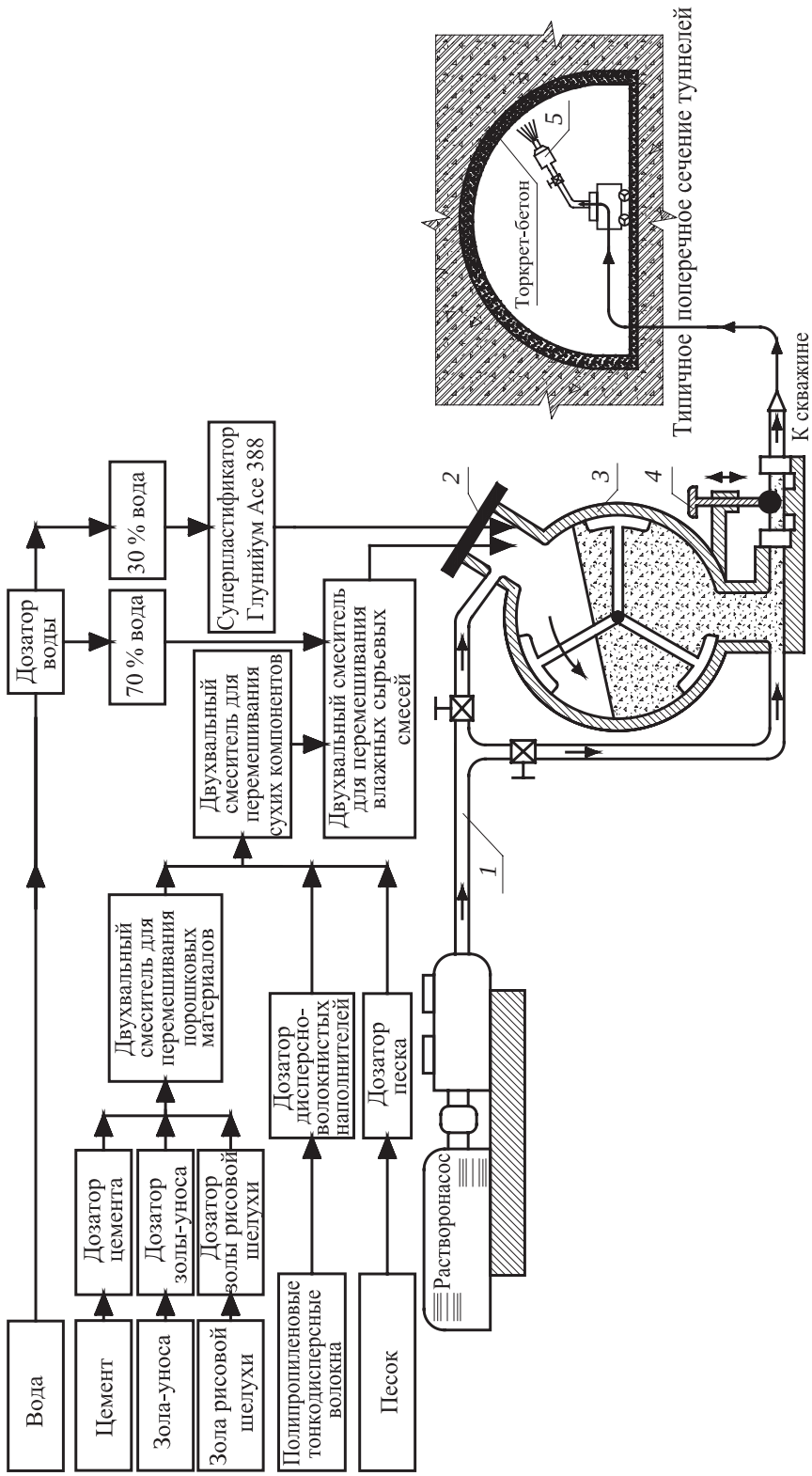

Рис. 5. Технологическая схема получения торкрет-бетона из мелкозернистой бетонной смеси по мокрому методу: *1* — пневматические шланги; *2* — заслонка; *3* — пневмокамера; *4* — кран шаровой; *5* — сопло

Из полученных экспериментальных результатов можно сделать следующие выводы:

• мелкозернистая бетонная смесь, содержащая суперпластификатор Ace 388 и наносимая методом торкретирования, имеет низкое водоцементное отношение, что обеспечивает ее быстрое схватывание и затвердевание, хотя она содержит значительное количество тонкодисперсных порошкообразных и волокнистых материалов, обладающих высокой водопотребностью;

• давление сжатого воздуха, необходимое для обеспечения бесперебойной транспортировки мелкозернистой бетонной смеси к месту укладки, напрямую зависит от ее вязкости и влажности.

Библиографический список

1. Руководство по нанесению материалов «Парад» методом торкретирования при возведении, ремонте и восстановлении строительных конструкций зданий и сооружений. Шифр М10.1/06. М., 2006, 28 с.

2. ТУ 5745-001-16216892-06. Торкрет-бетон. Технические условия. М., 2006. 10 с.

3. *Elwyn H. King, Nguyễn Đức Toàn*. Bê tông phun (Shotcrete). Tạp chí cầu đường Việt Nam, năm 2002, tr.17. (Нгуен Дык Тоан, Elwyn H. King. Торкрет-бетон // Вьетнамский мост Стрит джорнал. 2002, 17 с.)

4. *Phùng Mạnh Đắc.* Bê tông phun trong xây dựng mỏ với quá trình tăng trưởng của ngành than // Công nghệ bê tông phun trong xây dựng Mỏ và công trình Ngầm, Hà Nội, 2002, tr. 1—3. (Фунг Мань Дак. Торкрет-бетонирование в горном строительстве в связи с процессом роста угольной промышленности // Технология торкрет-бетонного строительства в шахтах и при производстве подземных работ : конф. Ханой, 2002. С. 1—3.)

5. *Nguyễn Quang Phích.* Khả năng sử dụng bê tông phun trong xây dựng công trình ngầm và mỏ // Hội thảo: Công nghệ bê tông phun trong xây dựng Mỏ và công trình Ngầm, Hà Nội năm 2002, tr. 5—12. (Нгуен Куанг Фич. Возможность использования торкрет-бетона при строительстве подземных сооружений и в горнодобывающей промышленности // Технология торкрет-бетонного строительства в шахтах и при производстве подземных работ : конф. Ханой, 2002. С. 5—12.)

6. *Đặng Trung Thành*. Bài giảng môn học Đào chống lò, dùng cho sinh viên ngành khai thác hầm lò, Bộ môn Công trình Ngầm và Mỏ Hà Nội. 2015, tr.135. (Данг Чунг Тхань. Курс лекций для студентов высших учебных заведений горнодобывающей промышленности. Департамент общественных работ и подземных шахт. Ханой, 2007. 135 с.)

7. *Tăng Văn Lâm, Đào Viết Đoàn.* Bê tông công trình Ngầm và Mỏ, NXB Xây Dựng, Hà Nội. 2015. Tr.378. (Танг Ван Лам, Дао Виет Доан. Бетоны, предназначенные для строительства метро и шахт. Ханой, 2015. 378 с.)

8. *Trần Tuấn Minh.* Xây dựng hệ thống tàu điện ngầm đô thị, NXB Xây dựng. Hà Nội, 2015. Tr. 288. (Чан Туан Минь. Строительство системы городского метро. Ханой, 2015. 288 с.)

9. *Tăng Văn Lâm.* Nghiên cứu chế tạo bê tông hạt mịn chất lượng cao dùng làm bê tông phun trong các công trình ngầm và mỏ // Thông tin Công nghệ Mỏ. Số 2/2012. Tr. 19—24. (Танг Ван Лам. Применений высококачественного мелкозернистого торкрет-бетона для строительства метро и горных шахт // Горно-технический информационный бюллетень. 2012. № 2. С. 19—24.)

10. *Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И.* Модифицированные высококачественные бетоны. М. : Изд-во АСВ, 2006, 368 с.

11. *Баженов Ю.М.* Современная технология бетона // Научные достижения в исследованиях о новых современных строительных материалах : совместный междунар. науч. симпозиум. Ханой, 2006. С. 12—18.

12. *Баженов Ю.М.* Использование наносистем в строительном материаловедении // Вопросы применения нанотехнологий в строительстве : сб. докладов участников круглого стола. М. : МГСУ, 2009. С. 4—8.

13. *Баженов Ю.М.* Многокомпонентные мелкозернистые бетоны // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2001. № 10. С. 24.

14. *Баженов Ю.М.* Высококачественный тонкозернистый бетон // Строительные материалы. 2000. № 2. С. 24—25.

15. *Schmidt M., Fehling E., Geisenhanslüke C., editors.* Ultra High Performance Concrete (UHPC). Proceedings of the International Symposium on Ultra High Performance Concrete, Kassel, Germany. University of Kassel, Germany, September 13—15, 2004. 884 p. Available at: http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-086-0.volltext.frei.pdf.

16. *Алексашин С.В., Булгаков Б.И.* Получение мелкозернистых бетонов с высокими эксплуатационными показателями // Сборник научных трудов Института строительства и архитектуры. М. : КЮГ, 2012. С. 12—13.

17. *Алексашин С.В., Булгаков Б.И.* Мелкозернистый бетон для гидротехнического строительства, модифицированный комплексной органоминеральной добавкой // Вестник МГСУ. 2013. № 8. С. 97—103.

18. *Ляпидевская О.Б., Безуглова Е.А., Самотесова Н.В.* Новый гидроизоляционный материал на минеральной основе для защиты подземных сооружений от воздействия агрессивной среды // Вестник МГСУ. 2011. № 1—1. С. 126—130.

19. *Стенечкина К.С., Алимов Л.А., Александрова О.В.* Кинетика твердения бетонов, легированных наномодификаторами // Научное обозрение. 2015. № 14. С. 181—187.

20. *Гиндин Н.Н., Гусенков А.С.* Мелкозернистые бетоны на высевке от производства известкового щебня // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. 2005. № 9. С. 18—20.

Поступила в редакцию в мае 2016 г.

Об авторах: **Фам Дик Тханг** — аспирант кафедры геотехнологии освоения недр, **Национальный исследовательский технологический университет (НИТУ «МИСиС»)**, 119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 4, phamducthangmct@gmail.com;

Булгаков Борис Игоревич — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ**), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 8(495) 287-49-14, доб. 31-01, fakultetst@mail.ru;

Танг Ван Лам — аспирант кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, lamvantang@gmail.com.

Для цитирования: *Фам Дик Тханг, Булгаков Б.И., Танг Ван Лам.* Применение мелкозернистого торкрет-бетона для строительства туннелей метро// Вестник МГСУ. 2016. № 7. С. 81—90.

Pham Duc Thang, B.I. Bulgakov, Tang Van Lam

APPLICATION OF FINE-GRAINED SHOTCRETE FOR THE CONSTRUCTION OF UNDERGROUND TUNNELS

The authors consider the prospects of the use of shotcrete on the basis of fine-grained concrete mix for the construction of underground. Such use has the following advantages: there is an increase of the construction speed due to high feed rate of rapidly fastening concrete mix that has good adhesion to other materials; thanks to solid

structure the obtained concrete has high water resistance and therefore it can be used in the construction of underground structures undergoing high pressure of groundwater; using reinforcing mesh it is possible to create thin-walled dome vaults in underground structures, as well as to obtain a reinforced layer of a heavy thickness, which has high strength and good adhesion to rocks due to the use of metal mesh, steel frame, anchors and introduction of dispersed steel or carbon fibers that can be used in the construction of large tunnels.

The obtained experimental results showed that the fine-grained concrete mixture containing superplasticizer Ace 388 applied by gunning, has a low water-cement ratio, which provides its fast setting and hardening, although it contains a substantial amount of fine powdery or fibrous materials having a high water demand. The compressed air pressure required to ensure the smooth transportation of fine-grained concrete mix to the placing site, depends on its viscosity and moisture.

Key words: gunting, shotcrete, construction of underground, repair work, fine-grained concrete mix, shotcrete equipment, dry, semi-dry and wet gunning

References

1. *Rukovodstvo po naneseniyu materialov «Parad» metodom torkretirovaniya pri vozvedenii, remonte i vosstanovlenii stroitel'nykh konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy. Shifr M10.1/06* [Guidance on Application of the Materials “Parad” by Shotcrete Method in the Construction, Repair and Restoration of the Constructions of Buildings and Structures. Call Number M10.1/06]. Moscow, 2006, 28 p. (In Russian)

2. *TU 5745-001-16216892-06. Torkret-beton. Tekhnicheskie usloviya* [TU 5745-001-16216892-06. Shotcrete. Technical Conditions]. Moscow, 2006, 10 p. (In Russian)

3. Elwyn H. King, Nguyễn Đức Toàn. Bê tông phun (Shotsrete). Tạp chí cầu đường Việt Nam, năm 2002, tr.17. [Shotcrete. Vietnamese Bridge Street Journal. 2002, 17 p.] (In Vietnamese)

4. Phùng Mạnh Đắc. Bê tông phun trong xây dựng mỏ với quá trình tăng trưởng của ngành than. Công nghệ bê tông phun trong xây dựng Mỏ và công trình Ngầm, Hà Nội, 2002, tr. 1—3. [Shotcrete in Mining Construction Due to the Growth Process of the Coal Industry]. Shotcrete Construction Technology in the Mines and in Underground Works. Hanoi, 2002, pp. 1—3]. (In Vietnamese)

5. Nguyễn Quang Phích. Khả năng sử dụng bê tông phun trong xây dựng công trình ngầm và mỏ. Hội thảo: Công nghệ bê tông phun trong xây dựng Mỏ và công trình Ngầm, Hà Nội năm 2002, tr. 5—12. [The Possibility of Using Shotcrete in Underground Construction and Mining. Shotcrete Construction Technology in the Mines and in Underground Works. Hanoi, 2002, pp. 5—12]. (In Vietnamese)

6. Đặng Trung Thành. Bài giảng môn học Đào chống lò, dùng cho sinh viên ngành khai thác hầm lò, Bộ môn Công trình Ngầm và Mỏ Hà Nội. 2015, tr.135. [A Course of Lectures for Students of Higher Educational Institutions of the Mining Industry. The Department of Public Works and Underground Mines. Hanoi, 2007, 135 p.] (In Vietnamese)

7. Tăng Văn Lâm, Đào Viết Đoàn. Bê tông công trình Ngầm và Mỏ, NXB Xây Dựng, Hà Nội. 2015. Tr.378. [Concretes for Construction of Underground and Mines. Hanoi, 2015, 378 p.] (In Vietnamese)

8. Trần Tuấn Minh. Xây dựng hệ thống tàu điện ngầm đô thị, NXB Xây dựng. Hà Nội, 2015. Tr. 288. [Construction of a System of Urban Subway. Hanoi, 2015. 288 p.] (In Vietnamese)

9. Tăng Văn Lâm. Nghiên cứu chế tạo bê tông hạt mịn chất lượng cao dùng làm bê tông phun trong các công trình ngầm và mỏ. Thông tin Công nghệ Mỏ. Số 2/2012. Tr. 19—24. [Application of High-Quality Fine-grained Shotcrete in the Construction of Underground and Mining. Mining Information Bulletin. 2012, no. 2, pp. 19—24]. (In Vietnamese)

10. Bazhenov Yu.M., Dem'yanova V.S., Kalashnikov V.I. *Modifitsirovannye vysokokachestvennye betony* [Modified High Performance Concretes]. Moscow, ASV Publ., 2006, 368 p. (In Russian)

11. Bazhenov Yu.M. Sovremennaya tekhnologiya betona [Modern Technology of Concrete]. *Nauchnye dostizheniya v issledovaniyakh o novykh sovremennykh stroitel'nykh materialakh : sovmestnyy mezhdunarodnyy nauchnyy simpozium* [Scientific Achievements in the

Studies on New Modern Building Materials : Joint International Scientific Symposium]. Hanoi, 2006, pp. 12—18. (In Russian)

12. Bazhenov Yu.M. Ispol'zovanie nanosistem v stroitel'nom materialovedenii [Using Nanosystems in Building Material Science]. *Voprosy primeneniya nanotekhnologiy v stroitel'stve : sbornik dokladov uchastnikov kruglogo stola* [Questions of Using Nanotechnologies in Construction : Collection of Reports of the Round Table]. Moscow, MGSU Publ., 2009, pp. 4—8. (In Russian)

13. Bazhenov Yu.M. Mnogokomponentnye melkozernistye betony [Multicomponent Fine-Grained Concretes]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka* [Construction Materials, Equipment, Technologies of the 21st Century]. 2001, no. 10, p. 24. (In Russian)

14. Bazhenov Yu.M. Vysokokachestvennyy tonkozernistyy beton [High Performance Fine-Grained Concrete]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2000, no. 2, pp. 24—25. (In Russian)

15. Schmidt M., Fehling E., Geisenhanslüke C., editors. Ultra High Performance Concrete (UHPC). Proceedings of the International Symposium on Ultra High Performance Concrete, Kassel, Germany. University of Kassel, Germany, September 13—15, 2004, 884 p. Available at: http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-086-0.volltext.frei.pdf.

16. Aleksashin S.V., Bulgakov B.I. Poluchenie melkozernistykh betonov s vysokimi ekspluatatsionnymi pokazatelyami [Obtaining High Performance Fine-Grained Concrete]. *Sbornik nauchnykh trudov Instituta stroitel'stva i arkhitektury* [Collection of Scientific Works of the Institute of Civil Engineering and Architecture]. Moscow, KYuG Publ., 2012, pp. 12—13. (In Russian)

17. Aleksashin S.V., Bulgakov B.I. Melkozernistyy beton dlya gidrotekhnicheskogo stroitel'stva, modifitsirovannyy kompleksnoy organomineral'noy dobavkoy [Fine Concrete for Hydraulic Engineering Modified by a Multi-component Additive]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2013, no. 8, pp. 97—103. (In Russian)

18. Lyapidevskaya O.B., Bezuglova E.A., Samotesova H.B. Novyy gidroizolyatsionnyy material na mineral'noy osnove dlya zashchity podzemnykh sooruzheniy ot vozdeystviya agressivnoy sredy [New Waterproofing Mineral-Based Material for Protection of Underground Constructions from Corrosive Medium]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2011, no. 1—1, pp. 126—130. (In Russian)

19. Stenechkina K.S., Alimov L.A., Aleksandrova O.V. Kinetika tverdeniya betonov, legirovannykh nanomodifikatorami [The Hardening Kinetics of Concrete Doped by Nanomodifiers]. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review]. 2015, no. 14, pp. 181—187. (In Russian)

20. Gindin N.N., Gusenkov A.S. Melkozernistye betony na vysevke ot proizvodstva izvestkovogo shchebnya [Fine-Grained Concretes on the Gritting of the Production of Crushed Limestone]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka* [Construction Materials, Equipment, Technologies of the 21st Century]. 2005, no. 9, pp. 18—20. (In Russian)

About the authors: **Pham Duc Thang —** postgraduate student, Department of Geotechnology of the Exploitation of Mineral Resources, **National University of Science and Technology (MISIS)**, 4 Leninskiy prospekt, 119991, Moscow, Russian Federation, phamducthangmct@gmail.com;

Bulgakov Boris Igorevich — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of the Technology of Binders and Concretes, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; fakultetst@mail.ru; +7 (495) 287-49-14 (ext. 31-01);

Tang Van Lam — postgraduate student, Department of the Technology of Binders and Concretes, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; lamvantang@gmail.com.

For citation: Pham Duc Thang, Bulgakov B.I., Tang Van Lam. Primenenie melkozernistogo torkret-betona dlya stroitel'stva tunneley metro [Application of Fine-Grained Shotcrete for the Construction of Underground Tunnels]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2016, no. 7, pp. 81—90. (In Russian)