

Журнал  
Тоннельной ассоциации России

## Председатель редакционной коллегии

С. Г. Елгаев, доктор техн. наук

## Зам. председателя редакционной коллегии

В. М. Абрамсон, канд. эконом. наук  
И. Я. Дорман, доктор техн. наук

## Ответственный секретарь

Г. И. Будницкий

## Редакционная коллегия

В. П. Абрамчук  
В. Н. Александров  
В. П. Антощенко  
М. Ю. Беленький  
А. Ю. Бочкарев, канд. эконом. наук  
Н. Н. Бычков, доктор техн. наук  
С. А. Жуков  
А. М. Земельман  
Б. А. Картозия, доктор техн. наук  
Е. Н. Курбачкий, доктор техн. наук  
С. В. Мазеин, доктор техн. наук  
И. В. Маковский, канд. техн. наук  
В. Е. Меркин, доктор техн. наук  
М. А. Мутушев, доктор техн. наук  
А. А. Пискунов, доктор техн. наук  
М. М. Рахимов  
М. Т. Укшебаев, доктор техн. наук  
Б. И. Федунец, доктор техн. наук  
Е. Ф. Чумаков  
Т. В. Шепитько, доктор техн. наук  
Е. В. Щекудов, канд. техн. наук

## Тоннельная ассоциация России

тел.: (495) 608-8032, 608-8172  
факс: (495) 607-3276  
www.tar-rus.ru  
e-mail: rus-tunnel@mail.ru

## Издатель

ООО «Метро и тоннели»

тел./факс: +7 (495) 981-80-71  
127521, Москва,  
ул. Октябрьская, д. 80, стр. 3,  
оф. 420Б  
e-mail: metrotunnels@gmail.com

## Генеральный директор

О. С. Власов

## Компьютерный дизайн и вёрстка

С. А. Славин

## Фотограф

С. А. Славин

Журнал зарегистрирован  
Минпечати РФ ПИ № 77-5707

Перепечатка текста и фотоматериалов  
журнала только с письменного  
разрешения издательства  
© ООО «Метро и тоннели», 2014

## № 6 2014

В. П. Абрамчуку – 70 лет! 2

## Проектные решения

Тоннельный переход через Керченский пролив 6

Заключение научно-технического экспертного  
совета Тоннельной ассоциации России 13

## Технологии

Опыт ФГУП «Управление строительства № 30»  
на строительстве вертикальных стволов шахт 14

В. П. Абрамчук

## Геомеханика

К вопросу о методологических основах  
категорирования грунтов по трудности их разрабатывания 18

В. П. Абрамчук, А. Ю. Педчик,  
В. В. Костенко, Ф. Г. Меденков

О собственной внутренней упругой энергии  
горных пород и ее роли в вопросах геомеханики 21

В. П. Абрамчук, А. Ю. Педчик,  
В. В. Костенко, Ф. Г. Меденков

Метод идентификации структуры и геомеханического  
состояния массива пород тоннеля на основе  
сейсмотомографических исследований 24

Н. Н. Абрамов, Ю. А. Епимахов, С. В. Шипицын

## Набрызг-бетон

Развитие современных технологий крепления  
на горнорудных предприятиях Хибин 26

Ю. Г. Смирнов, А. О. Орлов

## Безопасность строительства

Защита зданий и сооружений в зоне  
строительства тоннелей закрытого способа работ 30

В. А. Гарбер

# СОДЕРЖАНИЕ



## ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

Проект тоннельного  
перехода под Керченским  
проливом

# ВЛАДИМИРУ ПАВЛОВИЧУ АБРАМЧУКУ – 70 ЛЕТ!



*22 января 2015 г. исполняется 70 лет Владимиру Павловичу Абрамчуку – начальнику Федерального государственного унитарного предприятия "Управление строительства № 30", доктору транспорта Российской академии транспорта, заслуженному строителю Российской Федерации, почетному строителю, почетному транспортному строителю, лауреату премии Совета Министров СССР, действительному члену Академии горных наук, одному из ведущих специалистов страны в области подземного строительства.*

Выпускник Новосибирского института инженеров железнодорожного транспорта, который он окончил в 1968 г. по специальности «Мосты и транспортные тоннели», Владимир Павлович Абрамчук в течение 13 лет постигал практический опыт подземного строительства, в том числе и руководящей работы, в различных структурных подразделениях таких крупнейших строительных организаций того времени, как «Армтоннельстрой» и «Бамтоннельстрой». Являясь начальником Тоннельного отряда № 18 «Бамтоннельстрой» принимал активное участие в строительстве знаменитого Северомуйского тоннеля.

Опыт, приобретенный Владимиром Павловичем на строительстве горных тоннелей Закавказья и БАМа, впоследствии был им успешно применен и существенно приумножен на объектах строительства, возводимых ФГУП «Управление строительства № 30». Сначала в должности главного инженера, а с 1988 г. и по настоящее время в должности начальника организации.

В качестве одного из существенных вкладов Владимира Павловича Абрамчука в развитие производственной деятельности ФГУП «Управление строительства № 30» следует отметить то, что с его приходом стало более эффективным и рациональным использование производственного ресурса предприятия.

Так, за время руководства В. П. Абрамчуком ФГУП «УС-30» были построены и продолжают строиться многочисленные объекты подземного строительства, от гидротехнических тоннелей, метрополитенов и городских тоннелей в Москве, Челябинске, Казани, Уфе, Самаре, Днепропетровске, Екатеринбурге до объектов горно-капитального строительства на горнодобывающих предприятиях страны.

В числе последних завершенных объектов подземного строительства следует отметить тоннель донного водовыпуска-водосброса для Юмагузинского гидроузла (Республика Башкортостан), Юкспорский тоннель № 2, предназначенный для железнодорожной транспортировки руды по заказу ЗАО «ФосАгро АГ» для ОАО «Апатит» (г. Кировск, Мурманская область), строительство подземного рудника для ОАО «Верхнеуральская руда». Ближится к завершению строительство двух вертикальных стволов для ООО «ЕвроХим-Усольский калийный комбинат» (г. Березники, Пермский край). В стадии производства находятся еще целый ряд разнообразных объектов, в том числе Уфимский автодорожный тоннель.

В целом же, география производственной деятельности предприятия под руководством Владимира Павловича Абрамчука насчитывает свыше 60 населенных пунктов по всей территории нашей страны и стран ближнего зарубежья.

При непосредственном участии Владимира Павловича, впервые в нашей стране, были разработаны и внедрены в производство заряды контурного взрывания отечественного производства. На строительстве крупногабаритных подземных сооружений предприятие добилось передовых

в стране технико-экономических показателей, не уступающих лучшим мировым аналогам, а по некоторым показателям и превосходящих их. На строительстве вертикальных стволов для горнорудных предприятий, внедренные предприятием технологические новшества позволили существенно увеличить скорости горно-строительных работ и качество их исполнения. В совокупности все это позволило добиться существенного экономического эффекта не только в хозяйственной деятельности предприятия, но и в масштабах строительного комплекса страны в целом.

Владимир Павлович Абрамчук является одним из соавторов технологии скоростного строительства подземных комплексов в скальных массивах, лично и в соавторстве им опубликовано свыше 60 различных научно-технических публикаций, от монографий, изобретений, научно-технических статей и докладов вплоть до методических пособий и рекомендаций.

Немаловажный вклад внесен Владимиром Павловичем Абрамчуком в развитие общестроительного комплекса страны и Республики Башкортостан в частности. На территории последней возведены многочисленные жилые дома, школы, здравницы, другие объекты социально-культурного и промышленного назначения, такие, например, как спортивные комплексы, общественные центры, производственные базы промышленных предприятий, дороги, мосты, плотины, газопроводы и многое другое.

За свой труд, участие и содействие в развитии народно-хозяйственного комплекса страны Владимир Павлович награжден орденами Почета и Трудового Красного Знамени, За заслуги в строительстве, медалями «Ветеран труда», «За трудовую доблесть», «За содействие в обеспечении специальных программ», отмечен Почетными грамотами Правительств Российской Федерации и Республики Башкортостан, а также ведомственными знаками отличия «Лидер Российской экономики», «За заслуги в транспортном строительстве I степени» и др.

В. П. Абрамчук являлся депутатом Государственного Собрания - Курултая Республики Башкортостан I, II и III созывов, является Депутатом городского Совета ЗАТО г. Межгорье, а с 2009 г. – его председателем.

Во многом благодаря профессиональным и личностным качествам Владимира Павловича Абрамчука возглавляемое им предприятие и жители г. Межгорье в целом без существенных осложнений преодолели последствия экономических и политических неурядиц, постигших нашу страну за последние годы, восстанавливая постепенно прежний производственно-экономический потенциал предприятия и города.

Владимир Павлович является постоянным автором нашего журнала. Редакция «Метро и тоннели» сердечно поздравляет блестящего инженера, крупного руководителя, созидателя на благо нашего Отечества Владимира Павловича Абрамчука со столь значимой датой с пожеланиями здоровья, благополучия и счастья.

Уважаемый Владимир Павлович!

Примите самые теплые и искренние поздравления с Юбилеем – 70-летием со Дня рождения!

С огромным удовольствием и особой теплотой мы – многочисленный и дружный коллектив Управления строительства № 30 – Ваши единомышленники, ученики и подчиненные, поздравляем Вас с этой знаменательной датой.

Ваш юбилей – отличный повод для выражения наших искренних чувств и пожеланий. Возглавив Управление строительства № 30 в очень сложные годы, Вы смогли не только сохранить коллектив, обеспечить преемственность поколений, продолжить славные традиции УС-30, но и определить стратегию дальнейшего развития предприятия, которое прочно заняло одно из ведущих мест в области подземного строительства России.

Ваше жизненное кредо «Залог успеха – честь, профессионализм, ответственность!» стало настоящим девизом для работников ФГУП «УС-30».

В Вас удивительным образом соединились самые разные таланты и достоинства: дар настоящего инженера и крупного руководителя,

яркого лидера – с богатым жизненным опытом практической работы, житейской мудростью и душевной теплотой.

У Вас много наград, но не награды, а Ваш мужественный, стойкий характер и чуткое отношение к простым людям снискали уважение и авторитет у всех подземных строителей. Мы не покривим душой, если скажем – на таких людях держится Россия.

Вы из тех руководителей, у которых двери кабинета всегда открыты для всех, кто нуждается в добром совете, помощи и поддержке. Ваша активная общественная деятельность, по сути, дала новый импульс к процветанию любимого города.

В Межгорье фамилия Абрамчук уже много лет произносится с уважением, надеждой и верой.

Берегите себя и коллектив ФГУП «УС-30» – не забывайте, что от Вас зависит будущее тысяч людей, которые верят Вам. От всех наших сердец примите искренние поздравления с юбилеем. Желаем Вам доброго здоровья, долголетия, неиссякаемой энергии и дальнейших успехов на благо родного коллектива и нашего Отечества!

*Весь коллектив ФГУП «Управление строительства № 30»*

22 января 2015 г. исполняется 70 лет Владимиру Павловичу Абрамчуку, начальнику ФГУП «Управление строительства № 30», заслуженному строителю РФ, почетному транспортному строителю, одному из ведущих специалистов в области подземного строительства. Правление Тоннельной ассоциации России сердечно поздравляет Владимира Павловича со знаменательной датой.

Уважаемый Владимир Павлович, в тоннельном строительстве Вы работаете более 40 лет и прошли большой трудовой путь от мастера тоннельного участка до руководителя крупнейшей тоннелестроительной организации России.

Ваш труд вложен в строительство автодорожных тоннелей Армении, Башкирии, тоннелей Байкало-Амурской железнодорожной магистрали, гидротехнических сооружений Башкирии и Урала, метрополитена Челябинска, Казани, Уфы, Екатеринбурга и других объектов горно-капитального строительства на горнодобывающих предприятиях страны. Много времени Вы уделяете общественной деятельности, являясь депутатом Государственного Собрания Республики Баш-

кортостан, на территории которой Вами возведены многочисленные жилые дома, школы, больницы, спортивные комплексы и другие объекты социально-культурного и промышленного назначения.

Вы являетесь одним из авторов технологии скоростного строительства подземных комплексов в скальных массивах, соавтором многочисленных монографий, изобретений, научно-технических статей, методических пособий.

За свой трудовой вклад в развитие народно-хозяйственного комплекса страны Вы награждены орденами и медалями России.

Правление Тоннельной ассоциации России благодарит Вас за поддержку деятельности ассоциации, и мы надеемся на дальнейшее совместное сотрудничество. Желаем Вам крепкого здоровья, долголетия, счастья, благополучия и дальнейших творческих и производственных успехов.

*Правление Тоннельной ассоциации России*

Уважаемый Владимир Павлович!

Примите от петербургских метростроителей и от меня лично поздравления со славной датой!

Имея за плечами богатейший опыт строительства подземных сооружений, реализации строительства уникальных промышленных и гражданских объектов России, Украины, Башкортостана, руководя одной из крупнейших строительных организаций ФГУП «УС-30», Вы по праву являетесь одним из ведущих российских специалистов строительной отрасли. Убежден, что благодаря инженерному таланту, которым Вы, несомненно, обладаете, самоотверженному труду,

любви к своей профессии, Россия получит еще не один реализованный проект, еще не один повод для гордости за нашу страну и наших строителей.

В день Вашего юбилея я желаю Вам, уважаемый Владимир Павлович, крепкого здоровья, семейного благополучия и дальнейших успехов на профессиональном поприще!

*Генеральный директор*

*ОАО «Метрострой», Санкт-Петербург*

*В. Н. Александров*

22 января 2015 г. исполняется 70 лет начальнику Федерального государственного унитарного предприятия «Управление строительством № 30», действительному члену Академии горных наук, доктору РАТ Абрамчуку Владимиру Павловичу.

С огромным удовольствием вспоминаем более чем 30-летний период совместной с Вами работы. Вызывает глубокое уважение Ваш профессионализм и организаторские способности, умение решать сложные производственные и научные проблемы государственной значимости. Ваша постоянная решительная поддержка развиваемых совместно научных направлений, особенно существующая в трудные для науки моменты, является ярким проявлением высоких человеческих качеств, принципиальности и личной ответственности. Самое

главное, Вы всегда остаетесь высокопорядочным человеком, который умеет создавать вокруг себя климат сердечности и доброжелательности, отчего после встреч с Вами на душе становится спокойно и тепло. Мы считаем Вас не только единомышленником и горняком, но и самым близким другом.

Дорогой Владимир Павлович, коллектив Федерального государственного бюджетного учреждения науки Горного института Кольского научного центра Российской академии наук желает Вам доброго здоровья, успехов и благополучия, плодотворной совместной работы на благо горно-строительного дела и нашего Отечества!

*Директор института, академик*

*Н. Н. Мельников*

Уважаемый Владимир Павлович!

Примите самые теплые поздравления от имени Объединения подземных строителей и проектировщиков.

Празднование юбилея – это прекрасный повод выразить искреннее восхищение Вашими профессиональными заслугами, преданностью делу и активной жизненной позицией.

Становление отечественного тоннелестроения и всей отрасли подземного строительства в России во многом связано с Вашими успехами. Ведь под Вашим руководством осваивались технологии скоростного строительства большепролетных подземных сооружений в скальных грунтах, разрабатывались эффективные технические решения, позволяющие осуществлять строительство уникальных подземных объектов в сложнейших инженерно-геологических условиях.

Благодаря Вашему таланту руководителя ФГУП «Управление строительства № 30» не только сохранило свои передовые позиции в трудные годы перестройки, но и вышло на новые профессиональные рубежи, сохранив материально-техническую базу и опытных специалистов. И сегодня руководимое Вами предприятие по праву занимает позиции лидера российской строительной отрасли. Профессиональным коллективом УС-30 осуществляются такие проекты, как развитие метрополитена в Екатеринбурге, Челябинске, Самаре, Днепропетровске, строительство уникального автодорожного тоннеля в Уфе, развитие жилищного и промышленного комплекса Башкортос-

тана. УС-30 – это одна из крупнейших организаций, известная не только по всей России, но и за пределами нашей страны.

Мы гордимся тем, что ФГУП «Управление строительства № 30» входит в НП «Объединение подземных строителей» и считаем честью возможность представлять ФГУП «Управление строительства № 30» в международных профессиональных союзах, в которых состоит Партнерство. Благодаря усилиям таких заслуженных специалистов, как Вы, во всем мире растет авторитет России в области подземного проектирования и строительства. Мы благодарим Вас за поддержку инициатив в сфере международного профессионального сообщества и надеемся на продолжение конструктивного сотрудничества.

От всей души желаем Вам благополучия, жизненной энергии и сил для реализации поставленных задач. Пусть профессиональная и общественная деятельность приносит удовлетворение, а возглавляемое Вами предприятие наращивает производственные объемы и развивается на благо жителей всей страны!

*Генеральный директор Объединения подземных строителей и проектировщиков, член совета директоров международного Объединения исследовательских Центров Подземного Пространства Мегалисов (ACUUS)*  
С. Н. Алтатов

Уважаемый Владимир Павлович!

Союз строителей Республики Башкортостан сердечно поздравляет Вас со знаменательной датой – 70-летием со дня рождения!

Вы начали свой трудовой путь в 1962 г. слесарем по ремонту тепловозов в локомотивном депо станции Кулунда Алтайского Края. Далее, после окончания Новосибирского института инженеров железнодорожного транспорта, Вы продолжали работать на руководящих должностях горнопроходческих организаций и успешно прошли все ступени трудовой карьеры до должности генерального директора Федерального государственного унитарного предприятия «Управление строительства № 30» (ФГУП «УС-30»).

Под Вашим непосредственным руководством коллектив ФГУП «УС-30» своевременно и с высоким качеством выполнил целый ряд заказов по строительству уникальных и ответственных сооружений: создание наземной инфраструктуры и строительство метрополитенов в г. Екатеринбурге, Челябинске, Самаре, Днепропетровске; строительство подземных рудников для ГОКов в г. Учалы и Пласт; выполнен целый ряд работ по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС.

Особо необходимо выделить строительство гидротехнического тоннеля донного водосбора-водовыпуска Юмагузинского гидроузла, позволившее осуществить перекрытие реки Белой согласно графику.

Коллективом ФГУП «УС-30» построен прекрасный город республики – Межгорье.

Уважаемый Владимир Павлович, Вы всегда уделяли особое внимание широкому внедрению передовых горнопроходческих технологий, которые позволили возглавляемой Вами организации сдавать самые сложные объекты в запланированные сроки и с высоким качеством.

За годы работы Вы зарекомендовали себя как блестящий организатор и профессионал строительного дела. Высокая компетентность, преданность делу, требовательность к себе и внимательное отношение к людям снискали Вам глубокое уважение среди коллег по строительному комплексу.

Ваш многолетний, плодотворный труд высоко отмечен Правительством СССР и России: орденами Знак Почета и Трудового Красного Знамени, медалью «Ветеран труда», Почетной грамотой Республики Башкортостан, знаками отличия: «Почетный транспортный строитель», «Почетный строитель России». Вам присвоены почетные звания «Лауреат премии Совета Министров СССР», «Заслуженный строитель Российской Федерации».

В день Вашего 70-летнего юбилея, уважаемый Владимир Павлович, желаем Вам крепкого здоровья, семейного счастья, дальнейших успехов в работе, процветания возглавляемой Вами организации.

*Семьдесят лет – это дата роскошная,  
Вам и признание, всеобщий почет.  
Пусть Ваша жизнь, бесконечно хорошая,  
Радует Вас каждый день, каждый год!  
Семьдесят лет – это мудрость всей жизни,  
Самая соль нашей жизни земной!  
Пусть же судьба улыбнется Вам искренне,  
И обернется прекрасной мечтой!*

*От Союза строителей  
Республики Башкортостан*

*Р. Ф. Мамлеев  
В. И. Коротун*

# CONDAT STAB

укрепление грунтов и водонепроницаемость

**CONDAT**

LUBRIFIANTS

Компания **CONDAT**, имеющая 15-летний опыт в области тоннелестроения и работ, связанных с укреплением грунтов, всегда играла активную роль в разработке специализированных продуктов для этой отрасли. Компанией разработан полный спектр продукции, соответствующей различным типам грунтов и применяемого оборудования, а также отвечающей требованиям экологии и безопасности.

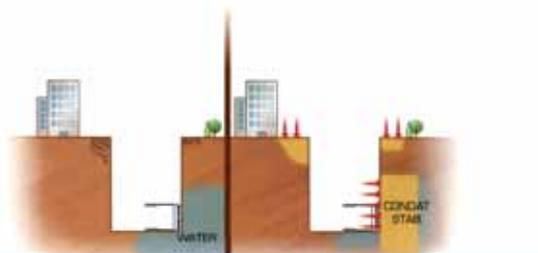
Продукция **CONDAT Stab** была разработана для решения задач укрепления грунта и водонепроницаемости при строительстве подземных сооружений и других видов подземных работ.

Компания **CONDAT** предлагает ускорители схватывания для растворов на силикатной основе, используемых для укрепления грунта путем нагнетания. Благодаря их высокой проникающей способности можно достичь максимального заполнения пустот и трещин в грунте, а следовательно, и максимальной водонепроницаемости. Нагнетание раствора в проницаемый грунт позволяет:

- повысить его механическую прочность;
- уменьшить проницаемость.

## Области применения CONDAT Stab

Укрепление стен стартовых котлованов при запуске тоннелепроходческих комплексов



Ремонт существующих подземных коммуникаций в случае их повреждения



Ремонт и укрепление фундаментов



Водонепроницаемость и герметизация подземных сооружений



Укрепление насыпей



Работа тоннелепроходческого комплекса в предельно тяжелых условиях



Официальный представитель фирмы Condat Lubrifiants в России  
ООО «ТА Инжиниринг Инт.»  
107078, Москва, ул. Октябрьская, д. 80, стр. 3  
тел.: (495) 724-7481  
тел./факс: (495) 981-8071

реклама

# ТОННЕЛЬНЫЙ ПЕРЕХОД ЧЕРЕЗ КЕРЧЕНСКИЙ ПРОЛИВ



По поручению Президента России В. В. Путина Министерству транспорта России была поставлена задача разработать проект транспортного перехода через Керченский пролив с окончанием строительства не позднее 2018 г. По результатам конкурсных процедур на выполнение инженерных изысканий и разработку технико-экономического обоснования по объекту «Строительство транспортного перехода через Керченский пролив» исполнителем работ было признано ОАО «Гипротрансмост». В соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 февраля 2014 г. № 274-р Государственной компанией «Автодор» учреждено ОАО «Транспортный переход через Керченский пролив», которое было определено как заказчик на выполнение данных работ. В объемах ТЭО необходимо было предоставить варианты мостового и тоннельного перехода.

К сожалению, бытует расхожее мнение, что тоннель по сравнению с мостом является объектом «дорогостоящим» и «долгостроящимся», поэтому данное суждение априори часто превалировало на многих совещаниях и экспертных советах, где в основном рассматривались различные варианты моста. При этом стоит отметить, что еще в марте 1945 г. по поручению Правительства СССР и Министерства обороны специалистами Метрогипротранса был разработан проект именно тоннельного перехода через Керченский пролив. Но, к сожалению, этот проект в то время не был реализован.

Учитывая, что транспортный переход через Керченский пролив, после присоединения Крыма к России, имеет большое социально-экономическое значение для нашей страны, мы публикуем предложенные ОАО «Метрогипротранс» проектные решения и технологии строительства тоннельного перехода. Данная публикация приобретает актуальность еще и потому, что не смотря на ранее объявленное решение руководства страны о строительстве мостового перехода через пролив, в конце октября 2014 г. крымские чиновники заявили о желании заново рассмотреть возможность строительства тоннеля под Керченским проливом.

### Общие сведения

Керченский пролив имеет длину около 25 км, а ширину на севере у косы Чушка (зона существующей паромной переправы) 4,5 км, на юге у острова Тузла 16 км. Глубина пролива в северной части составляет от 5 до 8 м, в южной части – от 3 до 6 м.

Морское судоходство между Азовским и Черным морем осуществляется по искусственному углублению в дне пролива глубиной от 8 до 10 м и шириной 320 м.

Общее количество проходящих судов составляет в год около 21000, из них около 500 судов крупнотоннажные длиной 150–250 м и высотой до 60 м и выше (например, буровые платформы).

Керченский пролив – это зона повышенной сейсмичности, составляющей 9 баллов. Скорость ветра может достигать 35 м/с и более, для этого места характерны штормы, скорость течения достигает 2 м/с, и поэтому не редки крушения судов. Каждый год зимой-весной из Азовского моря идет ледоход.

### Технические требования

В соответствии с техническими требованиями транспортный переход должен обеспечивать пропуск, с учетом перспективы, двух железнодорожных электрифицированных путей и четырех полос автодороги. На стадии ТЭО ОАО «Метрогипротранс» были разработаны основные варианты тоннельного перехода (автодорожный и железнодорожный тоннели или совмещенный автодорожный и железнодорожный тоннель) с учетом архитектурно-планировочных и конструктивных требований с разработкой следующих разделов.

1. Трасса тоннелей (по вариантам).
2. Конструкция тоннелей (по вариантам).
3. Организация работ.
4. Оценка возможности пропуска по тоннельному переходу инженерных коммуникаций.
5. Обеспечение защиты тоннеля от негативного воздействия геологических процессов.
6. Определение очередности и пусковые комплексы строительства.
7. Определение стоимости строительства по укрупненным единичным расценкам.

### Варианты по трассе

ОАО «Метрогипротранс» рассмотрены несколько вариантов трассы пересечения Керченского пролива (рис. 1).

*Первый вариант (основной) «Жуковский»* – в зоне действующей паромной переправы между косой Чушка Таманского полуострова и побережьем Керченского полуострова Крыма севернее порта «Крым» в районе поселка Жуковка.

*Второй вариант «Северный»* – между северо-западной частью Таманского полуострова и мысом Фонарь Керченского полуострова Крыма.

*Третий вариант «Тузлинский»* – по Тузлинской косе между мысом Тузла юго-запад-



Рис. 1. Схема вариантов транспортных тоннельных переходов через Керченский пролив



Рис. 2. Предлагаемый тоннельный вариант «Жуковский»

ной части Таманского полуострова и районе крепости «Керчь» в Крыму.

В качестве основного варианта по трассе принят первый вариант «Жуковский», имеющий наименьшую протяженность (рис. 2).

Трасса двух железнодорожных тоннелей намечена с северной стороны створа паромной переправы от косы Чушка до участка железной дороги в районе порта Крым. Длина тоннельного участка 5,71 км, длина рампового участка на косе Чушка 1,51 км, длина рампового участка на Крымском полуострове 2,1 км.

Трасса двух автодорожных тоннелей проложена параллельно железнодорожным тоннелям. Длина тоннельного участка 5,43 км, длина рампового участка на косе Чушка 0,62 км, длина рампового участка на Керченском полуострове 1,05 км.

Для железнодорожных тоннелей в плане применена кривая радиусом 1200 м, на рамповом участке – 600 м. Уклоны продольного профиля – в пределах от 9 до 3 ‰ (рис. 3).

Для автодорожных тоннелей в плане применена кривая радиусом 1500 м, на рамповом участке – 600 м. Уклоны продольного профиля – в пределах от 45 до 3 ‰ (рис. 4).

### Геологическое строение

Инженерно-геологические условия перехода по материалам изысканий прошлых лет можно разделить на три участка. У западного берега на протяжении примерно 1 км неглубоко залегают плотные коренные глины (до 13–17 м), покрытые слоем тяжелых суглинков, а у дна – иловатыми песками. Средний участок (около половины длины) характеризуется глубоким залеганием коренных глин, покрытых на десятки метров толщей слабых суглинков. Участок, прилегающий к восточному берегу, при глубоком залегании коренных глин сверху сложен плотными мелкозернистыми песками и тяжелыми суглинками.

Неогеновый структурный этаж в акватории пролива является фундаментом, на ко-

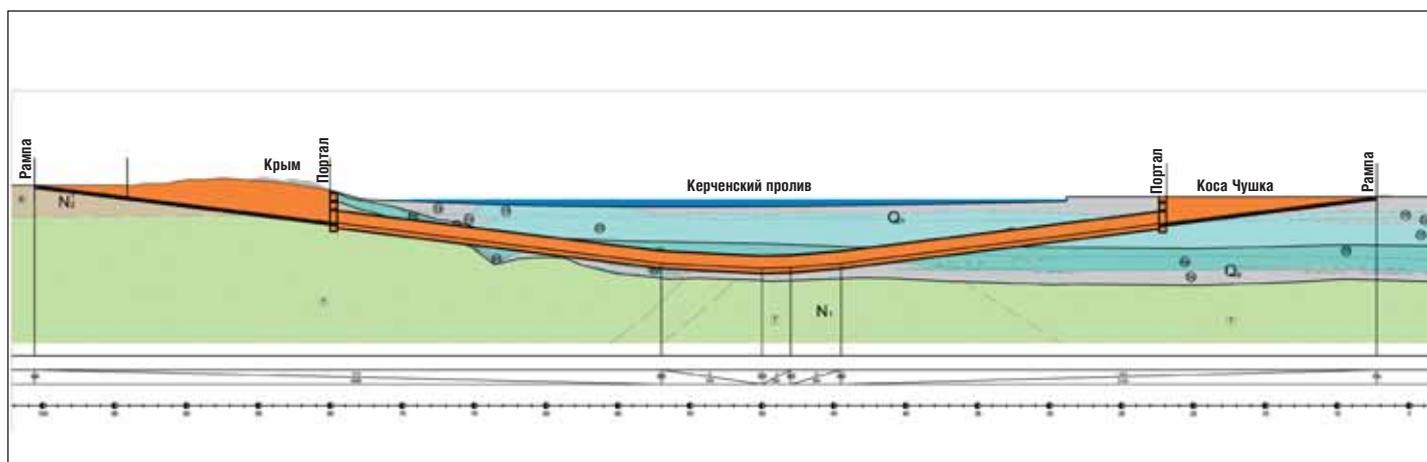


Рис. 3. Продольный профиль железнодорожного тоннеля

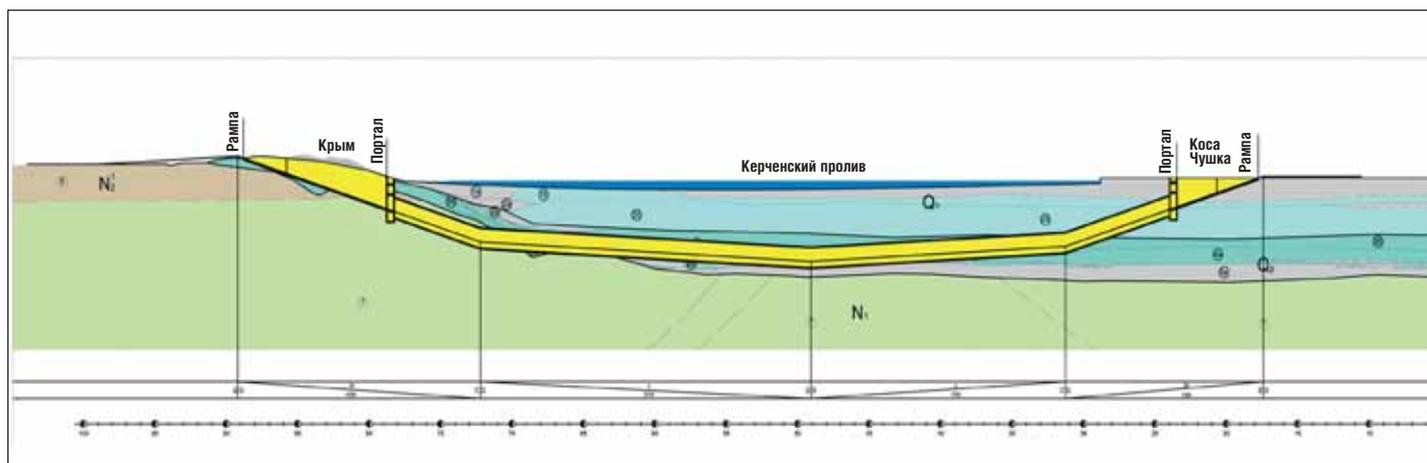


Рис. 4. Продольный профиль автодорожного тоннеля

Таблица 1

## Инженерно-геологические слои

Возраст	ИГЭ	Описание инженерно-геологического слоя	
Четвертичная система	Q	0	Насыпной грунт
		1a	Пески от мелкозернистых до пылеватых, средней плотности, с линзами супесей и ила, с обломками раковин
		16	Суглинки и супеси текучие с многочисленными включениями раковин и их обломков
		2a	Супеси иловатые средней плотности с редкими раковинами
		26	Глины от текучих до пластичных, средней плотности с многочисленными прослоями пылеватого песка
		3a	Пески тонкозернистые и пылеватые с включением раковин и их обломков
		36	Глины пластичные, средней плотности с включением раковин и их обломков
		4a	Глины пластичные, средней плотности с включением раковин и их обломков
		46	Суглинки пластичные, средней плотности с включением раковин и их обломков
		Четвертичные отложения	Q
56	Глины пластичные, средней плотности с включением раковин и их обломков		
5в	Суглинки пластичные, средней плотности с включением раковин и их обломков		
Неогеновая система	N <sub>1</sub>	6	Глины полутвердые и твердые плотные
		7	Глины полутвердые и твердые плотные

тором залегают четвертичные отложения. В свою очередь образования неогенового структурного этажа подстилаются породами более древних структурных этажей (табл. 1).

В акватории Керченского пролива *Неогеновые отложения* представлены плотными наклонно слоистыми твердыми и полутвердыми глинами. Вскрытая мощность отложений около 60 м.

На берегу Керченского полуострова на поверхность выходят *Меоитические отложения*, представленные в кровле известняками-ракушечниками макропористыми, трещиноватыми, местами окремненными, ниже – глинами твердыми и полутвердыми, плотными. Общая мощность отложений порядка 30 м.

Четвертичные отложения залегают горизонтально или полого наклонены, не образуют складок. Тело четвертичных отложений вложено в ложбину размыта дочетвертичных образований. Общая мощность четвертичных отложений на севере и юге пролива не превышает 20–30 м, а в центральной части составляет более 50 м. Четвертичные отложения представлены несколькими слоями.

*Новочерноморские отложения* слагают современное дно Керченского пролива. Поверхность их кровли, по существу, представляет собой современный рельеф дна пролива. Новочерноморские отложения представлены, преимущественно, песками от мелкозернистых до пылеватых, средней плотнос-

ти, с линзами супесей и ила, с обломками раковин, местами с гравием и галькой. В подошве новочерноморских отложений залегают суглинки текучие с многочисленными включениями раковин и их обломков. На косе Чушка суглинки переходят в иловатые тонкозернистые супеси, не имеющие включений крупных раковин. Общая мощность новочерноморских отложений составляет от 3 до 16 м.

*Древнечерноморские отложения* залегают под новочерноморскими отложениями и представлены глинами средней плотности, в кровле – текучими, с глубиной – пластичными, с многочисленными тонкими прослойками пылеватого песка с раковинами. В прибрежных участках пролива в кровле древнечерноморских отложений встречены крупные линзы иловатых супесей средней плотности с редкими раковинами. Общая мощность древнечерноморских отложений от 15 до 20 м.

*Новоэвксинские отложения* залегают под древнечерноморскими отложениями и представлены переслаиванием песков тонкозернистых и пылеватых с глинами и суглинками пластичными, средней плотности. Вся толща отложений содержит включения раковин и их обломков, на отдельных участках встречены линзы торфа. В подошве новоэвксинских отложений залегают слои карагатских разнозернистых песков с включением гравия, гальки и щебня мощностью от 2 до 6 м.

*Нерасчлененные делювиальные отложения* мощностью 10–12 м распространены на шельфе у Керченского полуострова, представлены суглинками от пластичной до полутвердой консистенции и содержат включения глыб, обломков, щебня известняка-ракушечника.

Общая мощность новоэвксинских отложений составляет от 10 до 25 м.

В соответствии с СП 47.13330 рассматриваемая территория относится к территории со сложными инженерно-геологическими условиями (III категория сложности).

### Конструкция обделки

Были рассмотрены два варианта конструкции тоннеля закрытого способа работ.

*Первый вариант* – сборное железобетонное кольцо наружным диаметром 12,83 м и толщиной блока 0,5 м, ширина кольца составляет 1,8 м. В таком тоннеле возможно разместить однопутный железнодорожный тоннель или двухполосную автодорогу.

В поперечном сечении железнодорожного тоннеля (рис. 5) размещается железнодорожный путь по габариту «С», а также эвакуационный отсек, который расположен в уровне пути, а ниже уровня пути находится зона пропускa транзитных коммуникаций различного назначения (высоковольтные кабели, кабели связи, водовод диаметром 1–2 м и т. п.).

В проезжей части поперечного сечения автодорожного тоннеля (рис. 6) размещены

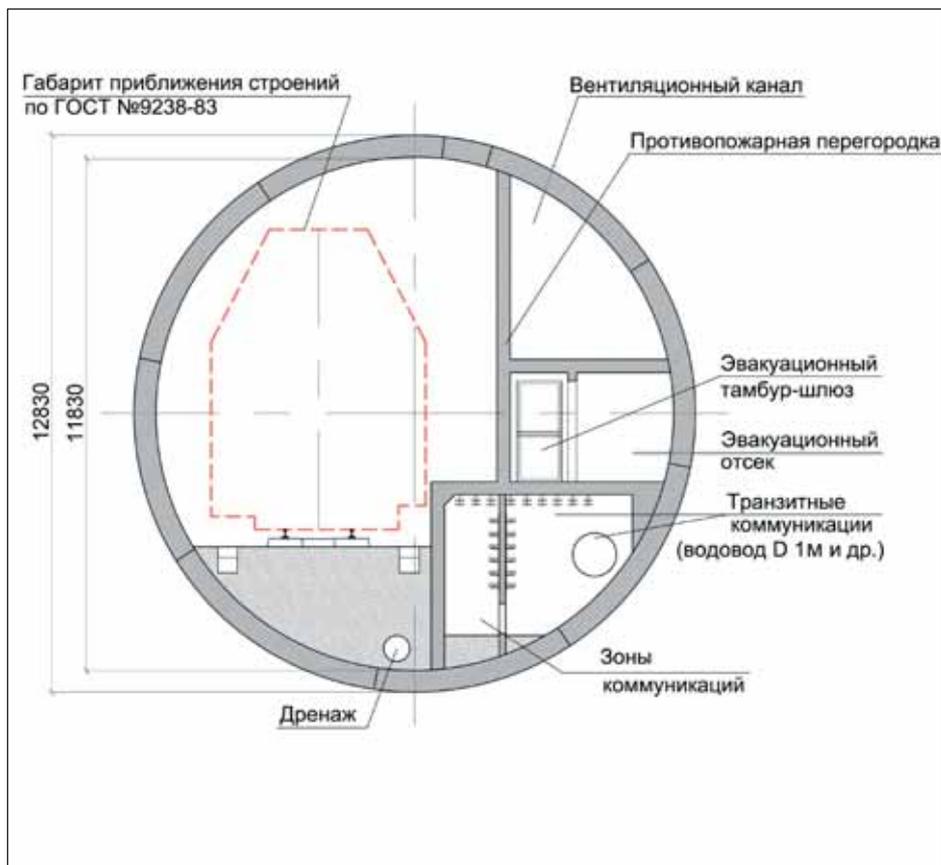


Рис. 5. Поперечное сечение железнодорожного тоннеля диаметром 12,83 м

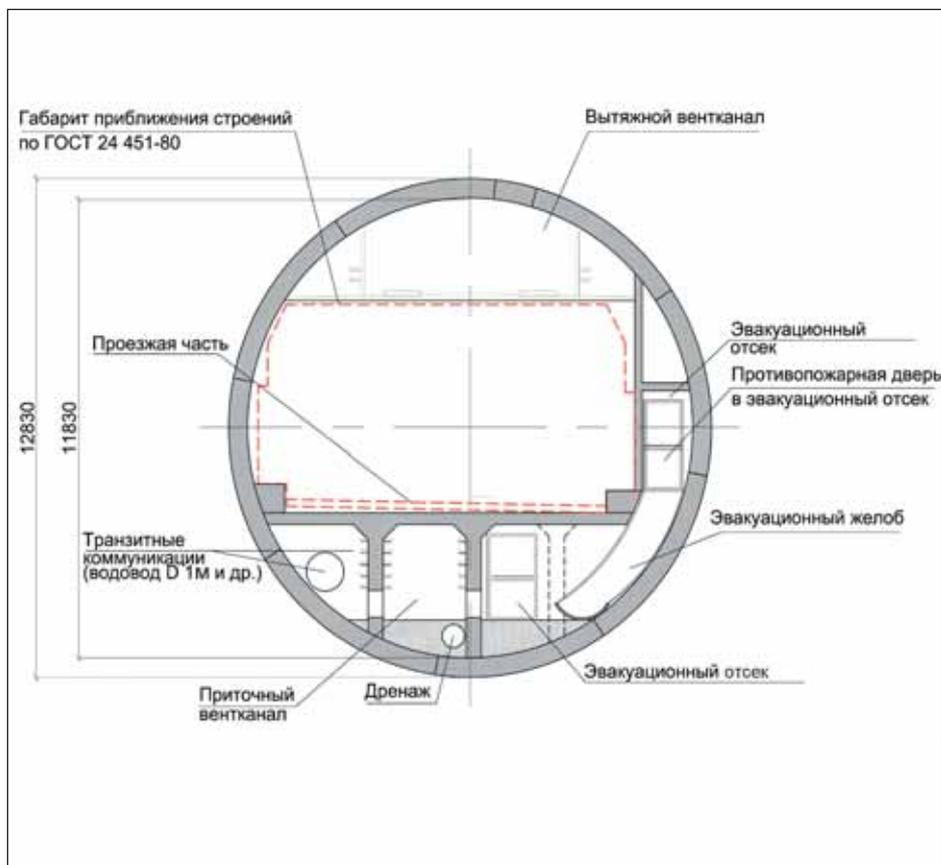


Рис. 6. Поперечное сечение автодорожного тоннеля диаметром 12,83 м

две полосы по 3,75 м, пешеходная дорожка шириной 1 м и эвакуационный отсек, из которого по эвакуационному желобу люди попадают в нижний уровень эвакуационного

отсека. На участке, где отсутствует эвакуационный отсек, расположена зона отстоя автотранспорта. Сводовую часть тоннеля занимают устройства вентиляции, освещения,

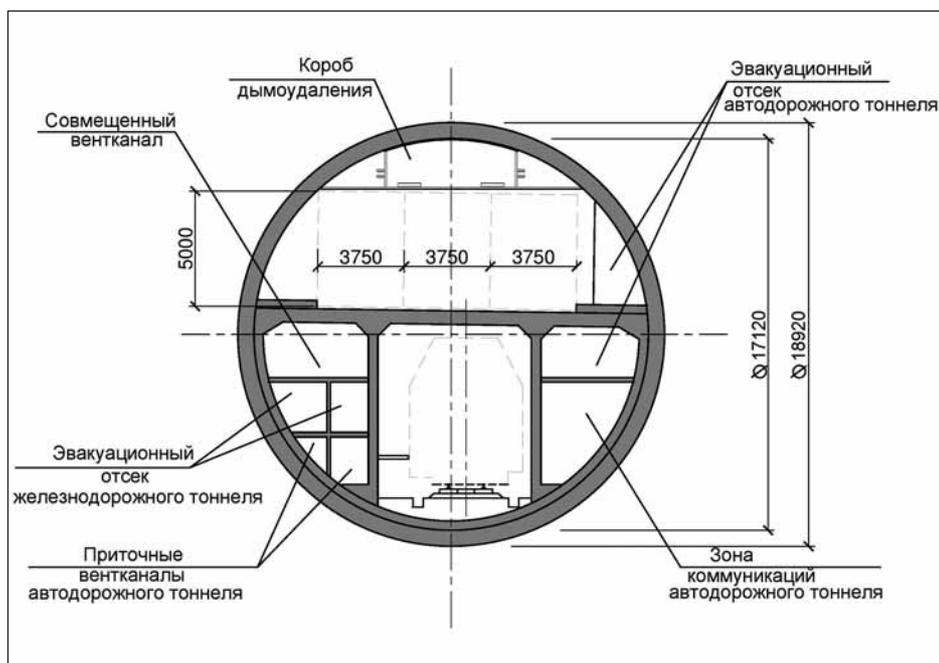


Рис. 7. Поперечное сечение совмещенного тоннеля

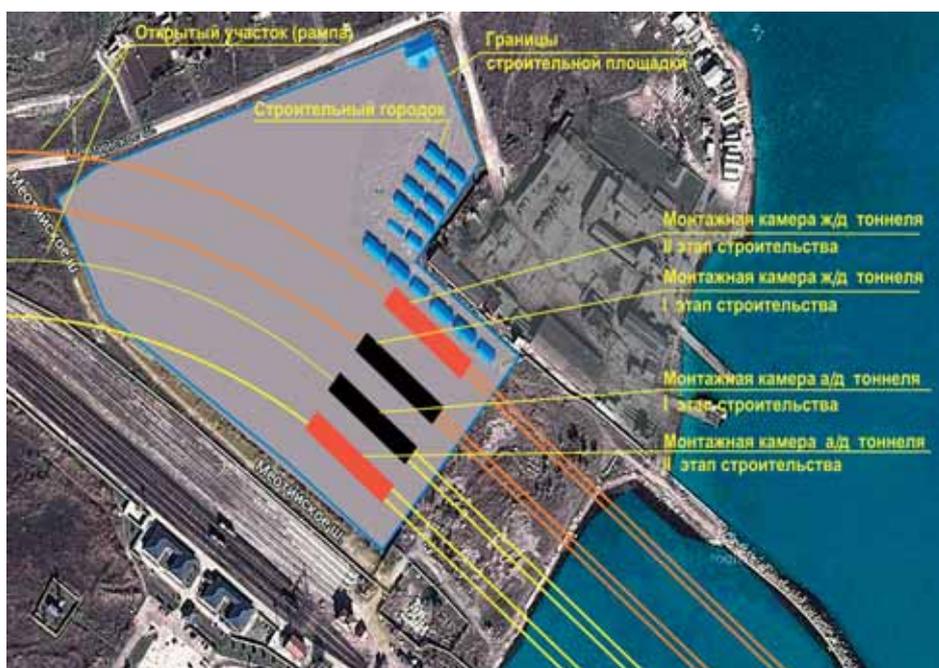


Рис. 8. Базовая строительная площадка на полуострове Крым

сигнализации и связи. В подвальном помещении размещены кабельные и вентиляционные каналы, дренажные устройства и зона для пропуска транзитных коммуникаций. Дорожное покрытие предусмотрено асфальтобетонным с бетонным слоем по упругому основанию.

*Второй вариант* – сборное железобетонное кольцо наружным диаметром 18,92 м и толщиной блока 0,9 м (рис. 7). В поперечном сечении тоннеля в верхней его части размещаются три полосы для автотранспорта по 3,75 м, а также устройства для вентиляции, освещения, сигнализации, связи, кабельные каналы, две пешеходные дорожки по 0,75 м и эвакуационный отсек. Нижнюю часть поперечного сечения занимают железнодорожный путь по габариту «С», технологические

отсеки, дренажные устройства, пешеходная дорожка 1,5 м и эвакуационный отсек.

Железобетонные элементы сборных обделок закрытого способа работ запроектированы из тяжелого бетона класса В50, по водонепроницаемости принят бетон марки W12, по морозостойкости – F300. Обделка собирается из угловых колец. В стыках между блоками предусмотрены связи. Гидроизоляция сборной обделки закрытого способа работ обеспечивается за счет повышенной водонепроницаемости материала колец и наличия уплотнителей в стыках блоков. В качестве изоляции в сечении расположено два контура уплотнительных прокладок – внешний и внутренний. Железобетонные блоки армированы сварными арматурными каркасами из стали АIII. Устойчивость и геометрия

техническая неизменяемость обделок тоннелей закрытого способа работ обеспечивается за счет пространственной жесткости колец из железобетонных блоков, обжатых окружающим грунтом. Для повышения жесткости обделки предусмотрена перевязка швов соседних колец. Основная обделка и подвесной потолок тоннелей имеют огнезащиту, выполненную панелями на основе базальтового супертонкого волокна.

В качестве основного варианта по конструкции тоннеля закрытого способа работ был принят первый вариант – тоннель диаметром 12,83 м, в виду более высокой стоимости сооружения двух тоннелей диаметром 18,92 м по сравнению с четырьмя тоннелями диаметром 12,83 м, а также отсутствию отечественного опыта в проходке тоннелей сверхбольших диаметров. На сегодняшний день в тоннелестроении России широко освоено сооружение тоннелей тоннелепроходческими механизированными комплексами (ТПМК) в любых гидрогеологических условиях с отработкой всех технологических процессов строительства, диаметром до 14 м.

### Организация строительства

Как уже было сказано, сооружение железнодорожных и автодорожного тоннелей предусмотрено двумя ТПМК диаметром 12,83 м. В качестве базовой площадки выбрана зона Керченского полуострова севернее порта «Крым» на участке пустыря площадью более 10 га, вдали от города Керчи, но где при этом имеются подъездные дороги, а также рядом расположен морской причал. Площадка позволяет разместить на ней, помимо четырех монтажных камер, всю инфраструктуру по проходке тоннелей ТПМК (здание сепараторной, компрессорная, площадка хранения блоков, бытовой городок) (рис. 8). Проходка тоннелей осуществляется на глубине 30–40 м в толще пластичных глин средней плотности четвертичной системы, находящейся под илом и мелкозернистыми песками донных отложений Керченского пролива. ТПМК ведет разработку грунта роторным органом под защитой раствора бентонитовой глины, находящейся в призабойной камере под регулируемым давлением, что исключает возможность нарушений грунтового массива и, соответственно, дна Керченского пролива, и полностью решает проблему экологической защищенности при строительстве тоннельных транспортных переходов через Керченский пролив. Выдача грунта от забоя на поверхность осуществляется гидротранспортом по трубопроводам (пульпроводам), расположенным в тоннеле. Управление передвижением ТПМК ведется в автоматическом режиме с применением современной системы лазерного наведения.

Учитывая тот факт, что в зоне проходки преобладают однородные грунты, представленные пластичными глинами средней плотности четвертичной системы, находя-

щейся под илом и мелкозернистыми песками донных отложений Керченского пролива, то средняя скорость проходки ТПМК может быть принята не меньше 200–250 м в месяц. Строительство одного тоннеля одним ТПМК займет около двух лет. На 1-м этапе строительства предусмотрено использование двух ТПМК.

Около десяти месяцев уйдет на подготовительные работы (освоение строительных площадок, завоз строительной техники и материалов). Около пяти-семи месяцев займет внутреннее обустройство тоннелей и подготовка по вводу в эксплуатацию. Рамповые участки и объекты инфраструктуры будут сооружаться параллельно с проходкой тоннеля. Общий срок 1-го этапа строительства – 3,5 года. Общий срок 2-го этапа – 3 года, так как подготовительные работы не потребуются. Работы по обходу города Керчи двухпутной железнодорожной веткой и четырехполосной автодорогой будут вестись параллельно со строительством тоннелей.

Сооружение тоннеля практически неподвержено климатическим условиям в зоне строительства, и не зависит от погодных условий (ветер, шторм, зима-лето и т. п.), а также не будет препятствовать существующему интенсивному судоходству.

Учитывая значительную площадь базовой площадки, производство работ по сооружению тоннеля не будет оказывать влияние на нормальное функционирование работ портовых служб и железной дороги, а близость порта и железной дороги позволит оперативно доставлять на строительную площадку железобетонные блоки и строительные материалы. К базовой строительной площадке примыкают строительные площадки, предназначенные для сооружения рампового участка открытого способа работ.

Строительные площадки на косе Чушка Таманского полуострова расположены по обе стороны железнодорожных путей, а с противоположной стороны площадки граничат с автодорогами. Расстояние между железной дорогой и автодорогой составляет 70–80 м, что позволяет разместить на каждой из площадок, как минимум, две демонтажные камеры, но при необходимости можно разместить и все четыре демонтажные камеры (рис. 9). Учитывая то, что основные работы по проходке тоннелей будут производиться с базовой площадки на Керченском полуострове, а строительные площадки на косе Чушка расположены на значительном расстоянии от порта «Кавказ», то работы по демонтажу ТПМК, а также по сооружению рамповых участков не окажут влияния на работу портовых служб, железной дороги и автодорог, идущих в порт «Кавказ» (рис. 10).

Размещение строительных площадок предусматривает сохранение в полном объеме существующей автодорожной и железнодорожной транспортной инфраструктуры Керченского и Таманского полуострова,

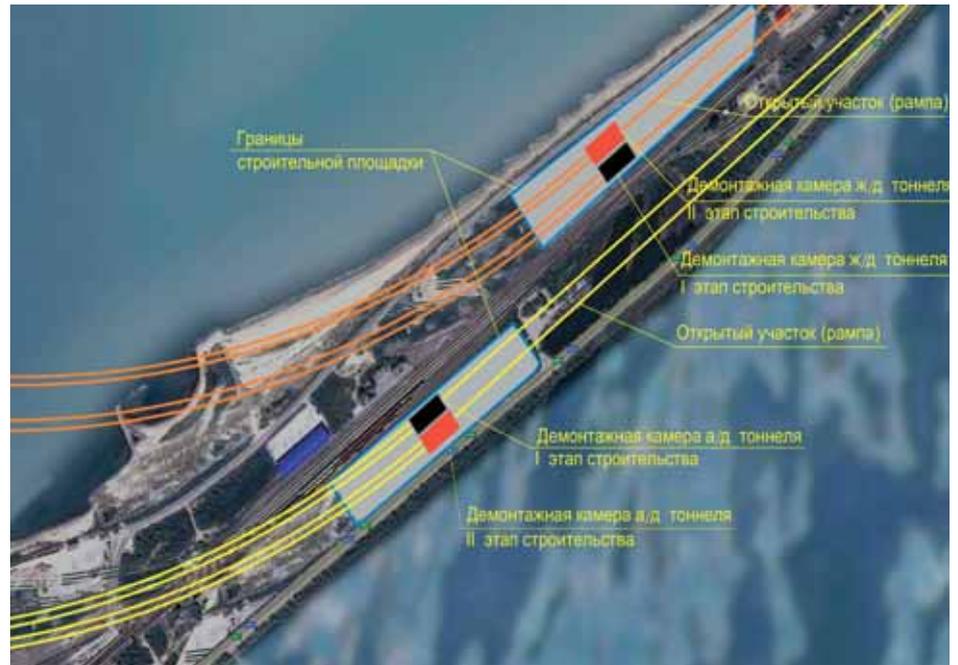


Рис. 9. Строительные площадки на косе Чушка

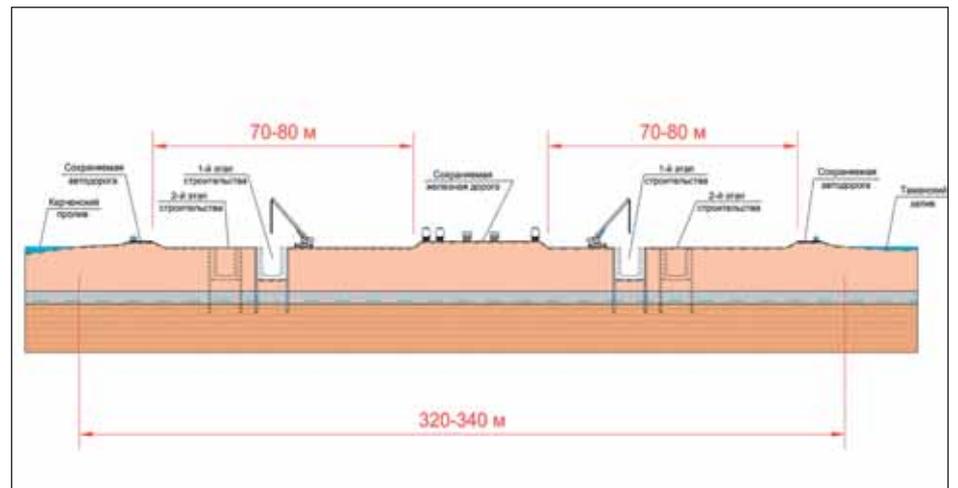


Рис. 10. Разрез по стройплощадкам открытого способа работ на косе Чушка

включая паромное сообщение через Керченский пролив.

Общая потребность в электроэнергии на полный разворот строительно-проходческих работ ориентировочно составит до 10 МВт.

С точки зрения экологии, строительство тоннеля не затронет акваторию пролива и не приведет к изменению его гидрологии, не изменит скорости течения и рельеф дна, и не окажет отрицательного влияния на существующую биофауну, а так как через пролив проходит большая миграция промысловых рыб, то строительство тоннеля не окажет влияние на промысловый лов рыбы.

### Участки открытого способа работ

На участках открытого способа работ возведение монолитных железобетонных рамповых участков ведется в котловане с ограждением «стена в грунте». «Стена в грунте» заглубляется в толщу глин для предотвращения поступления воды в котлован. Крепление котлована осуществляет-

ся расстрелами и подкосами по продольным поясам. Ведение работ на открытом способе работ предусматривается развернутым фронтом сразу на нескольких участках, что сократит сроки строительства. После разработки котлована устраивается оклеечная гидроизоляция основания тоннелей, ведутся арматурные работы, бетонируются лоток, стены.

Рамповый участок представляет собой монолитную железобетонную конструкцию П-образного сечения с распорными конструкциями в виде монолитных железобетонных балок. По мере поднятия трассы по уклону, в соответствии с расчетом, распорные конструкции можно исключить, а на участке выхода трассы к поверхности земли железобетонная конструкция может быть заменена на обычную земляную выемку.

Для несущих монолитных железобетонных конструкций открытого способа работ предусмотрен бетон класса по прочности на сжатие – В25, по водонепроницаемости – W6, марки по морозостойкости – F300.

Ориентировочная стоимость железнодорожных и автомобильных тоннелей

	Длина участка, км	Длина ramпы, км	Сроки строительства, год	Ориентировочная стоимость, млрд руб.
<b>Вариант I – «Жуковский»</b>				
1-й этап строительства				
Железнодорожный тоннель диам. 12,83 м	5,71	3,61	3,5	34,1
Автомобильный тоннель диам. 12,83 м	5,43	1,67		30,8
<b>ИТОГО</b>				<b>64,9</b>
2-й этап строительства				
Железнодорожный тоннель диам. 12,83 м	5,71	3,61	3,0	33,8
Автомобильный тоннель диам. 12,83 м	5,43	1,67		30,5
Обход г. Керчи:				
железная дорога 2 пути	7,5	–		3,5
автомобильная дорога 4 полосы	18,0	–		8,5
<b>ИТОГО</b>				<b>76,3</b>

Гидроизоляция выполняется по всему контуру.

В случае расположения лотка рампового участка ниже уровня грунтовых вод, производится расчет всей конструкции на всплытие и, при необходимости, устраивается дополнительный бетонный пригруз в лотковой части. В случае пересечения рампового участка с автодорогой или железнодорожными путями устраиваются локальные путепроводы.

### Обеспечение сейсмостойкости транспортных тоннелей

Сейсмичность района строительства составляет 9 баллов. Эксплуатационная надежность транспортных тоннелей, прокладываемых между материками в массиве грунта под толщей воды Керченского пролива в районе, подверженному землетрясениям, может быть обеспечена апробированными отечественной и мировой практикой принципами проектирования и конструирования тоннельных обделок в сейсмических районах (тоннели Байкало-Амурской магистрали, метрополитен Ташкента, опыт Японии и др.).

Эти принципы основываются на тщательном учете ожидаемых при землетрясении динамических параметрах колебаний грунтового массива (скорости, частоты, периоды, амплитуды колебаний) и принятии соответствующих конструктивных решений, обеспечивающих работоспособность тоннельной трубы (прочность, водонепроницаемость) при колебаниях.

Отечественной наукой разработаны методики расчета тоннельной обделки на действие сейсмических волн сжатия-растяжения и сдвига при их произвольном направлении от эпицентра землетрясений и при наиболее неблагоприятном сочетании действия этих волн.

Наиболее ответственным вопросом при конструировании тоннелей в сейсмоопасных районах является выбор конструктивных решений при пересечении стволем тоннеля зон действующих тектонических раз-

ломов, вероятность появления которых возможна в коренных скальных грунтах.

Инженерно-геологические и сейсмологические данные района проектирования свидетельствуют о наличии зон тектонического разлома по Керченскому проливу, однако по выбранной трассе тоннелей зоны тектонического разлома отсутствуют.

Таким образом, был проведен расчет тоннельной трубы, проложенной в грунтовой массе и совершающей совместные с грунтом колебания с прогнозируемыми параметрами длин волн и их амплитудами. Проведенные расчеты показывают, что фактическое (абсолютное) упругое смещение колец обделки относительно друг друга для тоннеля наружным диаметром 13–19 м составит не более 1,5 мм.

Применяемые в настоящее время при строительстве транспортных тоннелей высокопрочные и водонепроницаемые обделки, сооружаемые современными ТПМК, имеют упругие прокладки, которые позволяют воспринять подобные абсолютные деформации во время колебаний грунтового массива при землетрясениях без потери упругости и гидроизоляционных свойств тоннельной обделки в целом.

### Организация эксплуатации

Предусматривается поэтапный ввод в эксплуатацию тоннелей.

1-й этап строительства – сооружение первого железнодорожного тоннеля под один путь и первого автомобильного тоннеля под две полосы автодороги. На этом этапе предусмотрена интеграция нового железнодорожного пути с существующей однопутной железной дорогой, а также интеграция двух новых автомобильных полос с существующей двухполосной автодорогой. В автомобильном тоннеле на 1-м этапе предлагается организовать реверсивное движение, что позволит обеспечить более безопасное движение автотранспорта, а также регулировать неравномерные автомобильные потоки.

На 1-м этапе, при необходимости, можно первоначально построить один железнодорожный тоннель, а автомобильный транспорт перевозить на железнодорожных платформах, как это предусмотрено в тоннеле под Ла-Маншем.

После увеличения грузо- и пассажиропотоков наступает 2-й этап строительства – сооружение второго железнодорожного тоннеля под один путь и второго автомобильного тоннеля под две полосы автодороги. На этом этапе, после увеличения потоков железнодорожного и автомобильного транспорта, предусматривается сооружение в обход города Керчи двух железнодорожных путей длиной 7,5 км и четырехполосной автодороги длиной 18 км.

Учитывая высокую стоимость строительства, разбивка на этапы позволит более гибко распределить и оптимизировать государственные инвестиции, а также раньше начать окупаемость проекта (табл. 2).

### Преимущества тоннельного перехода

- Технологичность строительства (в России накоплен большой опыт сооружения тоннелей в аналогичных условиях).
- Независимость строительства и эксплуатации от погодных-климатических условий.
- Безопасность судоходства, как в период строительства, так и в период эксплуатации.
- Экологическая безопасность и сохранение режима рыболовства.
- Тоннель менее подвержен сейсмическому воздействию.
- Обеспечение военно-стратегической безопасности перехода.
- Срок строительства не превысит 3–3,5 года для каждого этапа строительства.
- Возможность поэтапного ввода тоннелей.

Проект тоннельного перехода через Керченский пролив был рассмотрен Тоннельной ассоциацией России и получил положительное заключение.



Материал подготовлен  
ОАО «Метротранс»

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЭКСПЕРТНОГО СОВЕТА ТОННЕЛЬНОЙ АССОЦИАЦИИ РОССИИ

20 июня 2014 г. состоялся экспертный совет ТА России по технико-экономическому обоснованию тоннельного перехода через Керченский пролив, разработанному ОАО «Метрогипротранс».

Изучив предоставленные материалы, экспертный совет сделал следующие выводы.

1. «Жуковский» вариант трассы является наиболее коротким и дает возможность в директивные сроки включения тоннельного перехода, как железнодорожного, так и автодорожного после их строительства, в единую транспортную сеть, так как и со стороны Крыма, и со стороны косы Чушка имеются железнодорожные пути и автодорога, идущие к портам «Крым» и «Кавказ».

2. ТЭО, представленное ОАО «Метрогипротранс», выполнено по фондовым материалам инженерных изысканий прошлых лет.

Фондовые материалы имеют достаточную проработку для принятия решения на стадии ТЭО, но для дальнейшего проектирования на стадиях «проект» и «рабочая документация» качественные и количественные характеристики грунтов должны быть уточнены после проведения дополнительных геологических изысканий по Жуковскому створу.

Но для стадии ТЭО тоннельного варианта, в отличие от мостового, эти данные не имеют принципиального значения, как для выбора конструкции тоннеля, так и для схем организации работ.

Отсутствие уточненных данных по геологии является недостатком, но не только для тоннельного варианта, но и в большей степени для мостового варианта.

3. В качестве основного способа строительства принята проходка тоннелей закрытым способом с применением современных механизированных и автоматизированных тоннелепроходческих комплексов (ТПМК).

Сооружение тоннелей с применением ТПМК производится в случае проходки в неустойчивых разнородных грунтах с различной прочностью и деформативностью.

ТПМК ведет разработку грунта роторным органом под защитой раствора бентонитовой глины, находящейся в призабойной камере под регулируемым давлением грунто- и гидротрепала, что исключает возможность нарушений грунтового массива и дна Керченского пролива.

Закрепления грунтов основания при этом не требуется.

Отечественный и мировой опыт свидетельствует, что при надлежащем контроле гидрогеологического режима не возникает никаких форс-мажорных обстоятельств при проходке.

4. Для сооружения рамповых участков открытым способом применение конструкций, возводимых методом «стена в грунте», является наиболее рациональным решением. Этот способ и конструкции широко применяются в отечественной и мировой практике при строительстве котлованов в слабых, в том числе, водонасыщенных грунтах.

5. В ТЭО отмечено, что для конструкций тоннеля принят повышенный уровень ответственности в соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 30.12.2009 г. № 384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Это очень важный тезис, поскольку необходимо обеспечить долговечность тоннелей не менее чем на 100 лет.

6. Строительство тоннеля находится в зоне сейсмичности 9 баллов, поэтому в его конструкции предусмотрены соответствующие конструктивные решения, а именно связь элементов обделки (блоков) между собой в кольце и между кольцами, а также двойные гидроизоляционные упругие гидроизолирующие прокладки, позволяющие воспринимать дополнительные деформации тоннеля при колебаниях от сейсмических воздействий при землетрясении.

*(Среди неспециалистов в области сейсмологии укоренилось ошибочное мнение о небезопасности строительства тоннелей, якобы подверженных разрушению при тектонических разломах. Инженерно-геологические и сейсмологические данные района проектирования пересечения Керченского пролива свидетельствуют об отсутствии таких зон в месте трассирования тоннелей через Жуковский створ).*

Данные инженерно-сейсмологических изысканий свидетельствуют, что даже в наиболее слабых и рыхлых донных отложениях длина сейсмических волн, приходящих из эпицентра землетрясения, составляет не менее 150–200 м, а амплитуды колебаний не более 10–15 см.

Иными словами, при расположении тоннеля в подобных грунтах он будет совершать во время землетрясения совместные с грунтом колебания с относительным смещением

соседних тоннельных колец обделки, воспринимаемыми упругими прокладками между кольцами.

Более чем 30-летний опыт эксплуатации таких конструкций в слабых лессовых грунтах метрополитена г. Ташкента показал надежность таких конструкций.

7. Проведение детальных геолого-геофизических исследований и сейсмологических наблюдений сетью временных сейсмостанций позволит еще более углубленно и детально изучить сейсмический режим региона и количественные параметры возможных сейсмических колебаний (так называемый, комплекс сейсмомикронирования), а следовательно уточнить степень сейсмической опасности и, возможно, понизить ее.

8. В целях исключения необходимости перевода неэлектрифицированных участков железной дороги на электротягу (на данном этапе), представляется целесообразным использовать современные, эффективные средства очистки и нейтрализации отработавших газов дизелей, разработанные отечественной промышленностью.

9. Учитывая значительную площадь базовой площадки, производство работ по сооружению тоннеля не будет оказывать влияние на нормальное функционирование работы портовых служб и железной дороги, а близость порта и железной дороги позволит оперативно поставлять на строительную площадку железобетонные блоки и строительные материалы.

10. С учетом полученных экономических результатов (до 100 млрд руб.), а также опыта, квалификации, накопительной базы данных и технических решений, Тоннельная ассоциация России рекомендует проект ОАО «Метрогипротранс» для дальнейшей реализации.

11. Учитывая опасность по поводу сложности проведения тоннелей в зоне возможных тектонических разломов, целесообразно привлечь к научному сопровождению ведущую в мире организацию по данной проблеме – Институт динамики геосфер РАН (член Тоннельной ассоциации России).

12. Реализация вышеизложенных предложений позволит осуществить поэтапный ввод в эксплуатацию и раньше начать окупать стоимость тоннелей, а также более гибко распределить инвестиции.



# ОПЫТ ФГУП «УПРАВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА № 30» НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ ШАХТ

В. П. Абрамчук, начальник ФГУП «УС-30»

Одним из направлений деятельности ФГУП «УС-30» является горно-капитальное строительство для нужд горнодобывающей отрасли народно-хозяйственного комплекса страны, в частности строительство вертикальных стволов шахт. К настоящему времени предприятие имеет опыт строительства порядка 20 таких сооружений.

Строительство вертикальных стволов шахт относится к разряду хорошо отработанных технологий и отличается лишь по количеству, назначению и конструктивным особенностям околоствольных сооружений, в том числе и наземного размещения. При этом влияние инженерно-геологических особенностей свойств и строения породного массива в районе их строительства носит менее значимый характер на применяемые проектные решения в сравнении с горизонтально ориентированными горными выработками, особенно значительной протяженности. Тем более что и выбор мест посадки подобных сооружений уже на стадии их проектирования основывается на принципе минимизации негативного влияния инженерно-геологических условий строительства.

Тем не менее, существует класс таких сооружений, когда негативное влияние инженерно-геологических особенностей вмещающего их породного массива является фактором, так называемых, обстоятельств непреодолимой силы. К таковым, в частности, относятся инженерно-геологические условия на строительстве стволов для соледобывающих предприятий. Их отличительной особенностью является наличие водоупорного слоя, как правило, маркирующего верхнюю границу залегания горизонта соленосодержащей толщи пород и являющегося причиной возникновения в выше расположенных породах напорных вод и рассолов, нередко газонасыщенных.

Проходческие работы в таких условиях ведутся с применением специальных технологий, в частности технологии замораживания горных пород. Иными словами, гидрогеологический режим калийных месторождений предъявляет повышенные требования к качеству осуществления строительных технологий и, прежде всего, к качеству гидроизоляционных работ.

ФГУП «Управление строительства № 30», начиная с 2012 г., участвует в строительстве двух вертикальных стволов для Усольского калийного комбината по заказу ОАО «ЕвроХим». К настоящему времени работы по их проходке завершены, в стадии завершения находятся армировочные и другие вспомогательные работы, входя-

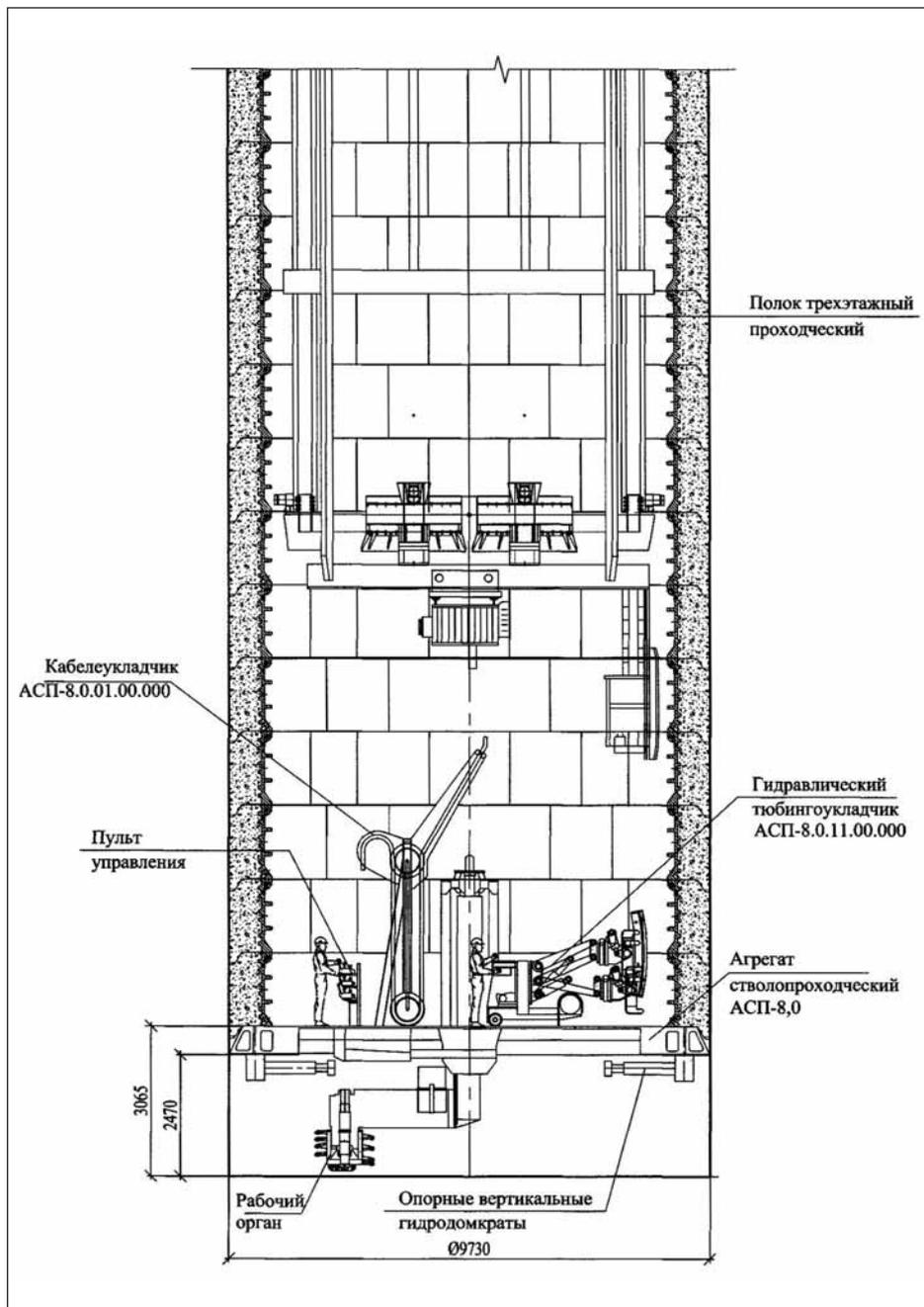


Рис. 1. Принципиальная схема расположения АСП-8 в забое

щие в состав проекта. Срок сдачи объектов – август 2015 г.

Несмотря на то, что предприятие полностью владеет арсеналом подобного рода строительных технологий, тем не менее, на данном строительстве впервые в отечественной практике был применен ряд новшеств, позволивший поднять технологию строительства вертикальных стволов на качественно новый уровень своего развития. Прежде всего, это касается использования специальной монтаж-

ной платформы для сборки тубингов в полносборное кольцо, его юстировки и присоединения к ранее собранной тубинговой колонне.

Сама идея полносборных конструкций в строительстве не нова, а применительно к рассматриваемой технологии была осуществлена еще в 60-е годы прошлого столетия. Однако в отечественной практике подземного строительства ее использование стало возможным благодаря конструкторским разработкам ЗАО «ОГСК»,

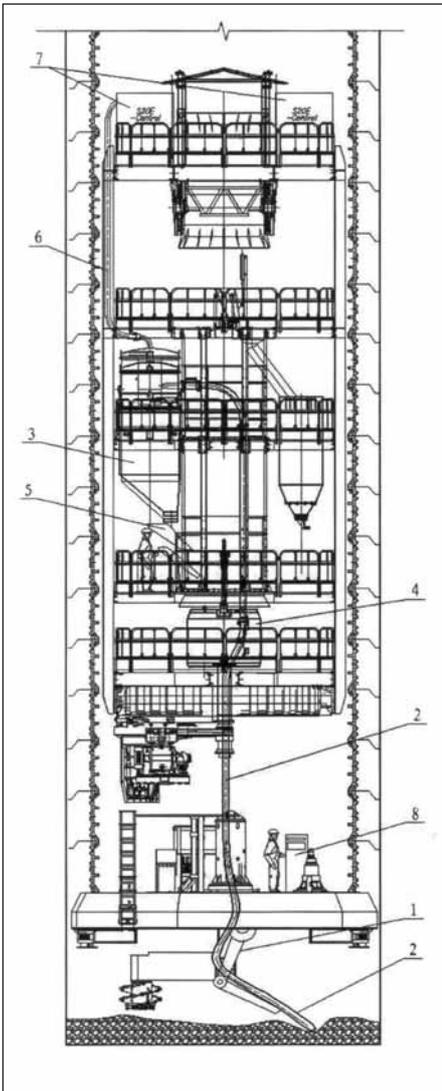


Рис. 2. Расположение механизмов в стволе в варианте уборки породы пневматическим транспортом: 1 – манипулятор; 2, 6 – пневмоукава; 3 – сепаратор; 4 – бадья; 5 – лоток; 7 – вакуумные насосы; 8 – пульт управления

а главное возникшим технико-экономическим предпосылкам для ее внедрения на горнодобывающих предприятиях нашей страны.

Конструкция монтажной платформы предполагает многофункциональное ее использование. При расположении на ней фрезы для механизированной резки пород она превращается в стволопроходческий агрегат. При оснащении проходческого полка оборудованием для пневмотранспортной уборки породы все используемые механизмы представляют собой единый стволопроходческий комплекс, позволяющий варьировать и совмещать практически все виды горностроительных работ в стволе, включая горный способ разработки забоя и грейферную уборку отбитой породной массы, на которые комплекс, в случае необходимости, легко перенастраивается.

Собственно на строительстве стволов для Усольского калийного комбината данная технология проходила опытно-про-



Рис. 3. Общий вид АСП-8



Рис. 4. Тестирование рабочего органа АСП-8 для резки пород в заводских условиях

мышленную апробацию. Полноценным внедрением можно считать лишь использование монтажного кольца для сборки тубинговой колонны. На рис. 1 представлена принципиальная схема производства работ с использованием несущей платформы стволопроходческого агрегата АСП-8, на которой дополнительно размещен гидравлический тубингоукладчик. Рис. 2 демонстрирует расположение механизмов в стволе в случае использования пневмотранспортной схемы уборки породы из забоя ствола.

На рис. 3, 4 и 5 изображен АСП-8 в процессе производства наземных (тестовых) испытаний по проверке работоспособности и настройке механизмов, входящих в

состав комплекса, к их работе в производственных условиях. Дополнительную информацию о применяемой технологии можно найти на официальных сайтах организаций, участвующих в реализации проекта, а также на страницах «Горного журнала» № 5 за 2013 г.

Реализация данного проекта с использованием новых горно-строительных технологий позволила получить ценную и разнообразную, практической значимости информацию для дальнейшего их совершенствования. Прежде всего, необходимо отметить, что использование в полном объеме только технологии сборки тубинговой крепи стволов на основе монтажного кольца позволило увеличить скорости строитель-



Рис. 5. Проверка механизма складывания вертикальных домкратов



Рис. 6. Положение настилов монтажной платформы при очистных работах

Рис. 7. Традиционное фото на память



ва подобных сооружений не менее чем на 30 % при существенном улучшении качества гидроизоляционных работ.

Это вполне ожидаемый результат, однако большая ценность приобретенного опыта состоит в выявлении конфликтных ситуаций на стыке применяемых технологий и в работе организаций их реализующих. В данной публикации нет необходимости в детальном изложении всех выявленных в процессе производства работ недостатков, главное, что они носят преимущественно организационный характер, достаточно легко преодолимы, а их устранение на нормативно-техническом уровне содержит существенный потенциал для дальнейшего развития технологий.

К числу технических сложностей можно, например, отнести установленный факт деформирования тубинговой колонны в процессе оттаивания ледопородного ограждения, что не может не влиять на качество ранее осуществленных гидроизоляционных работ. В технических документах, по всей видимости, недостаточно учтен динамический характер работы тубинговой колонны под воздействием нестационарного поведения внешних факторов. Во всяком случае, со стороны заказчика были попытки отнести продолжающийся процесс подчеканки тубинговых стыков на недостаточное качество монтажных работ.

Подчеканка стыков, как минимум, будет продолжаться, в том числе и силами заказчика на стадии эксплуатации сооружений, вплоть до полной стабилизации динамического режима поведения тубинговой колонны, что в принципе хорошо известно из опыта предыдущих строителей вертикальных стволов в рассматриваемых условиях (порядка 24-х). Строительство вертикальных стволов шахт с использованием стволопроходческого комплекса АСП-8 предъявляет повышенные требования к техническому персоналу, причем не столько в профессиональном плане, что естественно, сколько в способности к согласованным действиям и прогнозированию их последствий в длительных интервалах времени.

В настоящее время ФГУП «УС-30» реализует данную технологию на строительстве вертикального ствола глубиной 1147 м для ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий». На данный момент времени пройдено порядка 390 м ствола. Работы до этой отметки велись горным способом, сейчас ведутся работы по переходу на механизированный способ дальнейшего ведения горнопроходческих работ.

В заключение необходимо отметить, что полноценное внедрение данной технологии на горнодобывающих предприятиях страны создает благоприятные условия для оптимизации затрат на горно-капитальное строительство не только в масштабе одного предприятия, но и отрасли в целом.



# С нами строить легко!

- Проектирование и строительство подземных частей технически сложных и уникальных объектов (подземные автостоянки, транспортные развязки, гидротехнические сооружения)
- Ограждение котлованов
- Закрепление грунтов
- Усиление фундаментов
- Выполнение работ на памятниках истории и архитектуры



г. Пермь. ул. Кронштадтская, 35  
тел./факс (342) 236-90-70  
тел. в Ижевске (3412) 56-62-11  
тел. в Краснодаре (861) 240-90-82  
тел. в Красноярске (391) 208-17-15  
тел. в Казани (843) 296-66-61

тел. в Москве (495) 643-78-54  
тел. в Самаре (846) 922-56-36  
тел. в Санкт-Петербурге (812) 923-48-15  
тел. в Тюмени (3452) 74-49-75  
тел. в Уфе (917) 378-07-48  
тел. в Челябинске (351) 235-97-98

[www.new-ground.ru](http://www.new-ground.ru), [info@new-ground.ru](mailto:info@new-ground.ru)

# К ВОПРОСУ О МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВАХ КАТЕГОРИРОВАНИЯ ГРУНТОВ ПО ТРУДНОСТИ ИХ РАЗРАБАТЫВАНИЯ

**В. П. Абрамчук**, начальник ФГУП «УС-30»

**А. Ю. Педчик**, первый зам. начальника

**В. В. Костенко**, главный инженер

**Ф. Г. Меденков**, главный специалист по ГИО

**В** своих научно-технических публикациях, в том числе и на страницах данного журнала, мы неоднократно отмечали о неадекватности действующих и по настоящее время в физике и механике горных пород представлений о реальной природе протекающих в горных породах физических процессов и механизмов формирования их параметров. Все это в полной мере относится и к методикам или способам оценки так называемой характеристики крепости горных пород, определяющей трудоемкость работ в горном производстве.

Если сформулировать кратко, то основной причиной этой неадекватности является недостаточное понимание естественно-природной сущности физико-механических процессов, протекающих в горных породах, наделяя механический аспект их составляющей, что заимствованно из строительной механики, излишней значимостью. Это вполне объяснимо, поскольку именно данный аспект и является, преимущественно, предметом изучения физики и механики горных пород, а также других смежных научных дисциплин, применительно к процессам горного производства.

Если абстрагироваться от других аспектов проблемы, то все сводится к пониманию механизмов формирования силовых полей, действующих в горных породах в условиях их естественного залегания. Поскольку, по мнению современных исследователей, для объяснения инструментально зарегистрированного уровня упругого энергетического потенциала в горных породах возможностей гравитационного силового поля оказалось недостаточно, были заимствованы из сейсмологии и тектонофизики представления о действии в верхних слоях земной коры горизонтальных тектонических сил, которые впоследствии, без должного научного обоснования, приобрели статус рабочей гипотезы.

Более того, это предположение с подачи специалистов, занимающихся вопросами математического моделирования, ошибочно воспринимаемого многими в качестве теоретического раздела геомеханики, по умолчанию перешло в разряд общепризнанных фундаментальных научных положений, вопреки методологическим принципам научного метода исследований.

Поскольку мы уже неоднократно об этом писали, отметим только что в физическом отношении, более научно обоснованной альтернативой тектоническим силам или,

по-другому, механической парадигме формирования силовых полей в горных породах является теория формирования природных сред, основу которой составляет закон внутреннего динамического равновесия и принцип Ле-Шателье – Брауна.

Отличительной чертой таких сред является то обстоятельство, что их внутренний энергетический потенциал формируется на основе принципа максимума внутренней энергии, в отличие от, например, сплошной упругой среды, наиболее часто используемой в задачах математического моделирования применительно к горным породам.

А собственно величина упругого энергетического потенциала горных пород устанавливается исходя из условия минимизации энергии нестационарных флуктуаций внешних факторов, в том числе и космофизической природы, до уровня квазиобратимых, т. е. когда их энергетика не превышает, как правило, 1–3 % общего потенциала. При этом доля свободной упругой энергии, применительно к горным породам, которая может быть зарегистрирована современными инструментальными способами и которую ошибочно отождествляют с действием в верхних слоях земной коры тектонических сил, составляет всего лишь 25 %.

Иными словами, современными представлениями в физике и механике горных пород игнорируется до 75 % их упругого энергетического потенциала, который хотя и находится в связанной, потенциальной форме, тем не менее, при определенных условиях способен совершать существенную механическую работу. Такие условия возникают, например, при проведении горных выработок или, применительно к теме данной статьи, при отборе образцов горных пород ядерным бурением и во многих других случаях при образовании в породном массиве свободных поверхностей.

Если быть более точными в своих формулировках, то уровень упругой потенциаль-

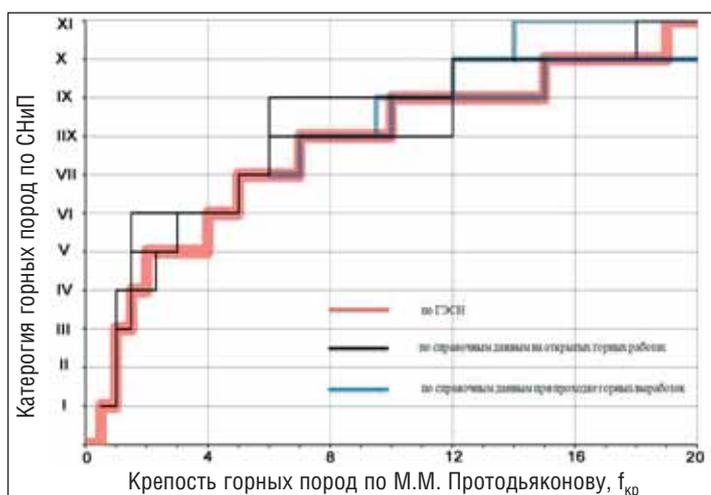


Рис. 1

ной энергии горных пород является доминирующим фактором при формировании их свойств и состояния, а также параметров, протекающих в породных массивах физико-механических процессов.

Применительно к проблеме категорирования горных пород по трудности их разработки влияние данного потенциала проявляется, как это уже отмечалось на страницах данного журнала (№ 6 за 2013 г.), в явлении дезинтеграции минерального скелета и снижении значений характеристик прочности и объемного веса, участвующих в формировании представлений о крепости горных пород. При этом с большой долей уверенности можно сказать, что на данный момент времени нет ни одного способа, который бы позволял осуществлять это категорирование с приемлемой для практики точностью и надежностью.

То, что данная процедура все это время каким-то образом осуществлялась на практике, является заслугой исключительно практического опыта ведения горных работ, а возникающие время от времени неординарные случаи разрешаются путем соблюдения баланса интересов хозяйствующих субъектов. Однако такое положение чревато возникновением серьезных конфликтных ситуаций и негативно отражается на дальнейшем развитии горно-строительной практики в целом, прежде всего в области строительства подземных сооружений в условиях твердых скальных оснований. При этом существующая нормативная база подземного строительства в этом отношении неблагоприятно сказывается, прежде всего, на деятельности

подрядных строительных организаций государственной формы собственности.

В своей деятельности подобные организации вынуждены руководствоваться устаревшими нормативными документами, доставшимися от бывшего СССР, в которых затраты на строительство установлены исходя из принципа их минимизации и качественных представлений о крепости горных пород, хотя и с учетом практического опыта.

Для иллюстрации данного утверждения на рис. 1 представлены данные категорирования грунтов исходя из Государственных элементарных строительных норм (ГЭСН) и практики работ горнодобывающих предприятий. Легко видеть, что по ГЭСН границы категорий тяготеют к нижним их значениям. Из этого рисунка также следует, что степень дискретизации категорий в нижней части шкалы практически недостижима с тех же позиций, что и для крепких горных пород.

В инженерной геологии, в принципе, это отражено путем деления геологических сред на два типа: А и В. А – это твердые скальные основания, В – породы прочностью на одноосное сжатие менее 50 МПа и объемным весом менее 2,5 г/см<sup>3</sup>. Поскольку в любом случае значения этих характеристик определяются на образцах, обращение с последними для пород категории В регламентируется отдельными нормативными документами.

Между тем, как это показано на рис. 2, твердым скальным основаниям также нередко свойственны значения прочности на одноосное сжатие менее 50 МПа и величины объемного веса менее 2,5 г/см<sup>3</sup>. Однако это является следствием действия в горных породах высокого уровня статических напряжений, в том числе и в потенциальном виде, зачастую приводящих геологическую среду при отборе образцов керновым бурением к полной ее дезинтеграции. Неучет данного обстоятельства и привел методологию отечественной практики категорирования твердых скальных оснований, как это показано на рис. 3, к явно искаженным представлениям.

Поскольку подробный анализ рис. 3 достаточно громоздок, а с другой стороны вполне очевиден, отметим только, что на этом рисунке объемный вес горных пород по оси абсцисс соответствует формуле:

$$\sigma_{сж} = K(\gamma - 1),$$

где  $\sigma_{сж}$  – прочность горных пород на одноосное сжатие, МПа;

$\gamma$  – их объемный вес, г/см<sup>3</sup>;

$K$  – согласующий размерности коэффициент,  $K = 100 \text{ МПа} \cdot \text{см}^3/\text{г}$ .

Время чистого бурения 1 м шпура ручным перфоратором соответствует по модулю числа коэффициенту крепости горных пород. Точками указаны середины диапазонов варьирования данных, а их размер указывает на частоту совпадений для разных петрографических наименований горных пород.

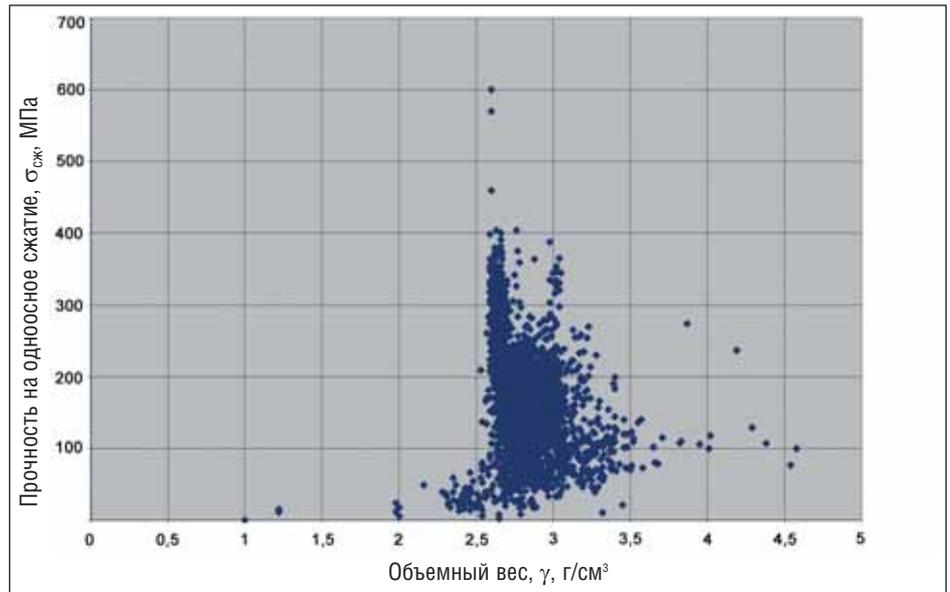


Рис. 2

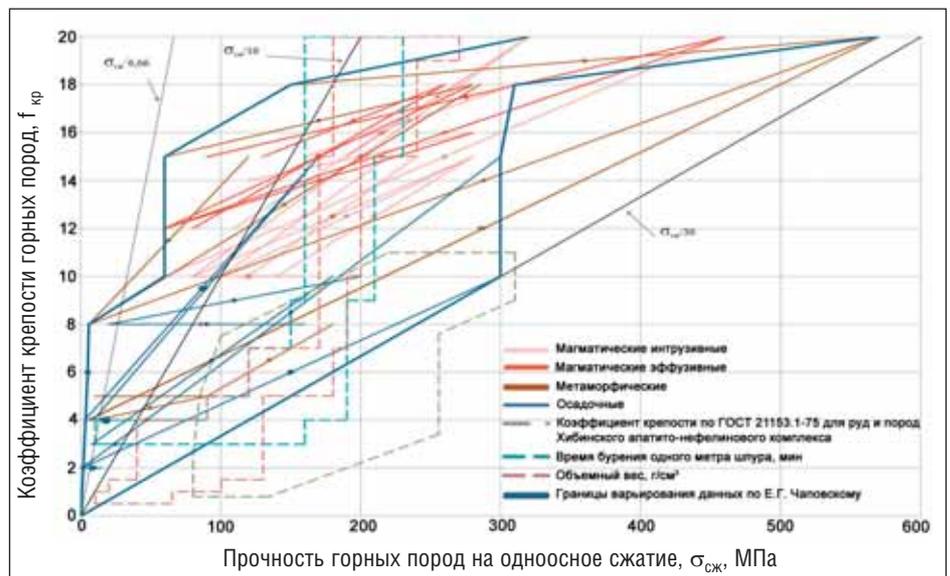


Рис. 3

Из особенностей рис. 3 обратим внимание на беспричинный скачок диапазона варьирования коэффициента крепости с 10 по 15, если ориентироваться только на величину прочности горных пород (ведущая характеристика для назначения коэффициента крепости пород в последнее время). Однако при этом видно, что данный скачок обусловлен варьированием времени чистого бурения 1 м шпура ручным перфоратором, определяемого по СНиП-IV-2-82 (ныне отмененный).

Время чистого бурения 1 м шпура ручным перфоратором является одной из первых инструментально определяемых характеристик горных пород, которая была положена в основу их нормативного категорирования. При этом считать, что по данному способу автоматически выполняется требование нормативных документов о необходимости определения параметров горных пород, участвующих в процедуре категорирования, в максимальной степени

приближенных к условиям их естественно залегания, является некорректным, поскольку бурение шпуров осуществляется в высоко градиентной по НДС зоне приконтурного массива горных выработок. К тому же учет параметров этих зон носит довольно условный, преимущественно качественный характер. Иными словами эта характеристика также сильно зависима от параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) горных пород в условиях их естественного залегания.

Среди других характерных особенностей рис. 3 следует обратить внимание на результаты определения коэффициента крепости горных пород по ГОСТ 21153.1-75, приводящего к явно заниженным его значениям для высоконапряженных горных пород. Причем, что характерно, границы области варьирования этих значений по конфигурации практически подобны границам области варьирования данных по Е. Г. Чаповскому.

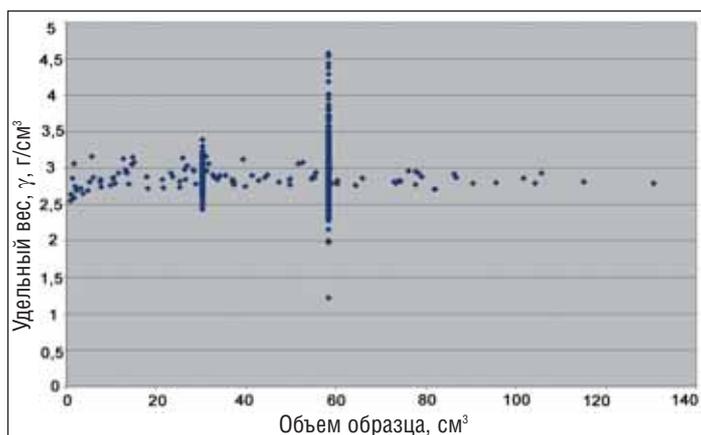


Рис. 4

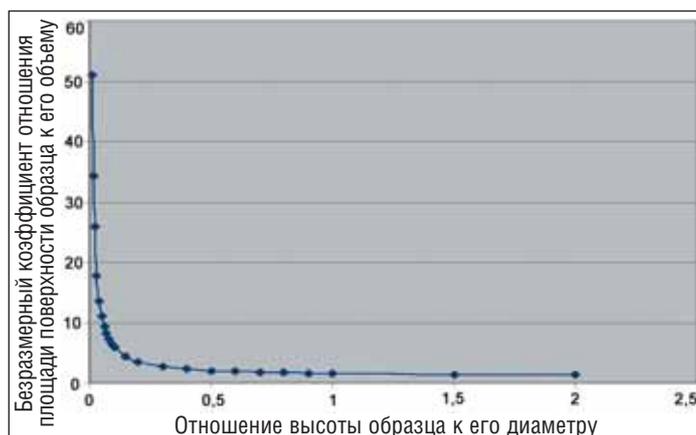


Рис. 5

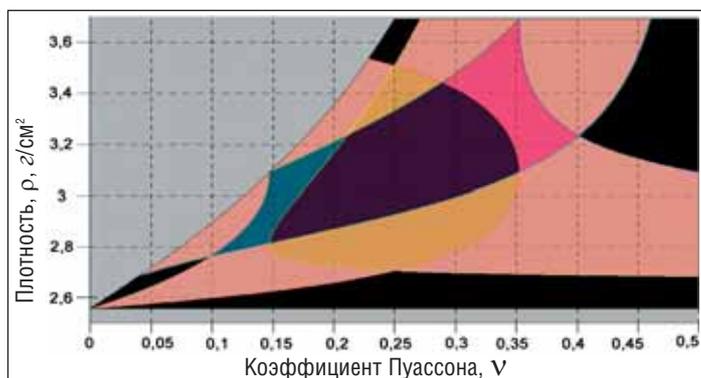


Рис. 6

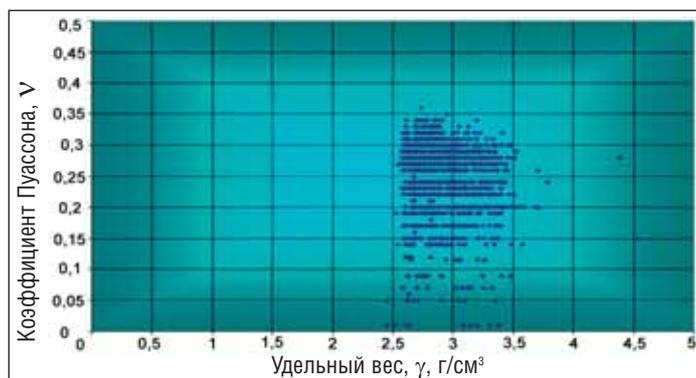


Рис. 7

Если обратить внимание на содержательную часть рис. 4 и 5, то становится ясно, что и в этом случае результаты оказываются сильно зависимыми от НДС, теперь уже образцов горных пород. Поскольку объемы вещества горных пород, вовлекаемых в зону эксперимента по данному ГОСТу, соответствуют резкому росту соотношения площади поверхности образцов к их объему, что существенно облегчает процесс их дезинтеграции под воздействием внутреннего упругого энергетического потенциала.

Справедливости ради необходимо заметить, и мы уже ранее в других публикациях это отмечали, что в тех случаях, когда влиянием НДС можно пренебречь, коэффициенты крепости горных пород по методу толчения могут совпадать по диапазону варьирования с другими способами оценки. Например, для инженерно-геологических условий на строительстве тоннеля донного водовыпуска – водосброса Юмагузинского гидроузла данные по этому методу хорошо коррелировали с оценкой коэффициента крепости по прочности пород на одноосное сжатие.

В заключение на рис. 6 приведены данные математического моделирования распределения плотности горных пород в условиях их естественного залегания в соответствие общей теории природных систем. На рис. 7 представлен в тех же координатах объемный вес для твердых скальных горных пород, полученный на образцах той же совокупности породных разновидностей, что и на рис. 2. С тем лишь отличием, что на рис. 2 дополнено представлены данные из литератур-

ных источников, включающие, в том числе, и менее твердые горные породы.

Хорошо видно, что эти данные обладают определенной идентичностью, свидетельствующей, как минимум, об адекватности модельных представлений реальной природе формирования свойств и состояния горных пород в массиве. При этом значения коэффициента Пуассона, полученные на образцах, смещены в сторону меньших их значений на величину порядка 0,05–0,1. Это в очередной раз иллюстрирует некорректность распространения оценок свойств и состояния горных пород, полученных на образцах, на условия естественного залегания последних.

Весьма характерно, что и данные рис. 2 достаточно хорошо соответствуют содержательной логике распределения данных, изображенных на рис. 6. Во всяком случае, полученные по результатам моделирования представления о наличии определенных запретов (области, окрашенные в черный цвет) на возможные значения тех или иных характеристик горных пород имеют экспериментальное подтверждение. А это свидетельствует о принципиальной возможности разработки общей фундаментальной теории формирования свойств и состояния горных пород в условиях их естественного залегания, в том числе и на образцах. Только в этом случае появятся реальные предпосылки прояснить физическую сущность такой их характеристики как крепость и использовать результаты лабораторных определений для оценки последней.

Применительно к текущей практике категорирования горных пород по трудности их разработки не будет большим преувеличением считать, что всем разновидностям сохранных коренных горных пород или по-другому твердым скальным основаниям свойственны по существующей классификации всего лишь две последние категории. Причем для назначения XI категории требуется определенная корректировка представлений, как о физических характеристиках горных пород, так и о выходных параметрах, устанавливаемых на ее основе. Во всяком случае, например, при строительстве Юкспорского тоннеля № 2 реальный расход ВВ при его проходке на 30 % превышал максимальный норматив, предусмотренный ГЭСН для пород высшей категории крепости. Попытки снизить этот перерасход приводили лишь к снижению качества производства буровзрывных работ. Причем данный перерасход ВВ обязан исключительно усилению заряда ВВ на врубе.

Категории с IX по VI свойственны переходным различиям, и, прежде всего, метаморфическим горным породам. Именно для этих случаев требуется дополнительный анализ на предмет участия НДС породных массивов в формировании значений тех или иных характеристик и назначении соответствующей категории. В случае установления существенности этого влияния должна назначаться X категория безотносительно к его величине. При отсутствии влияния и для пород категории V можно пользоваться любым из известных способов определения коэффициента крепости горных пород и принятой шкалой категорирования.

# О СОБСТВЕННОЙ ВНУТРЕННЕЙ УПРУГОЙ ЭНЕРГИИ ГОРНЫХ ПОРОД И ЕЕ РОЛИ В ВОПРОСАХ ГЕОМЕХАНИКИ

**В. П. Абрамчук**, начальник ФГУП «УС-30»

**А. Ю. Педчик**, первый зам. начальника

**В. В. Костенко**, главный инженер

**Ф. Г. Меденков**, главный специалист по ГИО

Современная нормативно-техническая база подземного строительства, по мнению многих специалистов, требует своего совершенствования, что вполне естественно в силу неуклонного процесса развития горно-строительных технологий. Однако есть вопросы в этой связи, требующие принципиально иных технических решений, основанных не столько на применении новых подходов и научных достижениях последних лет, сколько настоятельно требующих их появления. К таковым, в частности, относится проблема категорирования горных пород по трудности их разработки.

До сих пор эта проблема рассматривалась в свете устоявшихся в физике и механике горных пород представлений, согласно которым горные породы могут быть охарактеризованы некоторым набором технических или физико-механических характеристик, позволяющих осуществлять их кластеризацию в практических целях, т. е. категорирование. В то же время сама практика работ свидетельствует о несовершенстве этой процедуры, несмотря на все предпринимаемые усилия.

Может показаться, что работа по данной проблематике В. Н. Опарина и А. С. Танайно «Горное породоведение», опубликованная в 2011 г., ставит определенную точку в этом вопросе. Ее действительно можно рассматривать как итоговую, но не решения выше упомянутой проблемы, а свидетельствующую о ложности ныне действующих представлений о горных породах и протекающих в них физико-механических процессах. Появившись подобная работа лет на 50 раньше, она вполне могла бы быть актуальной и своевременной.

Справедливо полагая в начале своей работы о возможности применения к описанию поведения горных пород принципов квантовой механики, авторы, тем не менее, продолжают оперировать экспериментальными данными в классической постановке, игнорируя тем самым явную их квантово-механическую природу. При этом необходимо четко представлять, что проявления квантово-механической природы всего сущего зависят от масштабного уровня рассмотрения и, к примеру, на мезо уровне могут быть завуалированы низкими скоростями развития процессов или недостаточно большими массами и размерами пространства.

На страницах данного журнала и в других публикациях мы уже неоднократно выражали свою точку зрения о необходимости существенной корректировки фундаментальных представлений в геомеханике, пришедших в

явное противоречие накопленным эмпирическим знаниям, в том числе и ложной их интерпретации.

Одним из таких положений является вывод о том, что *минеральный скелет горных пород при его дезинтеграции своего объема не меняет*. Нам не удалось установить происхождение данного утверждения кроме как упоминания в работах акад. В. В. Ржевского и трудах кафедры инженерной геологии МГУ им. М. В. Ломоносова. Причем без каких-либо ссылок либо на результаты собственных исследований, либо на заимствование из литературных источников. Однако по нашему мнению это утверждение противоречит законам физики и условиям генезиса горных пород, прежде всего магматического происхождения.

В этой связи ниже рассматриваются результаты экспериментов, объясняющие возможные причины такого заблуждения, а главное – однозначно свидетельствующие, что горные породы, как естественно-природные образования, обладают собственным внутренним потенциалом упругой энергии, способной к совершению наблюдаемой на практике работы в виде проявлений так называемого горного давления. То есть реально существующего фактора, исключающего необходимость привнесения для этих целей представлений о тектонических силах, действующих в верхних слоях земной коры.

Уже результаты первых опытов по дезинтеграции образцов горных пород (по аналогии с оценкой их коэффициента крепости методом толчения) продемонстрировали колебания их объемов в пределах  $-6 - +8 \%$ , что, несмотря на недостатки по учету естественной и введенной трещинной пустотности, явно свидетельствует о несоответствии выше упомянутой «аксиомы» реальному поведению горных пород. При этом  $2 \%$  среднее увеличение объема вполне может быть истолковано в пользу ее обоснования, поскольку оно находится в зоне влияния погрешностей измерений.

В целях обеспечения большей сохранности фрагментов минерального скелета при его дезинтеграции, были проведены также опыты по раскалыванию образцов керна, постоянно деля их пополам. На рис. 1 представлен пример такого опыта. При этом суммарный объемный

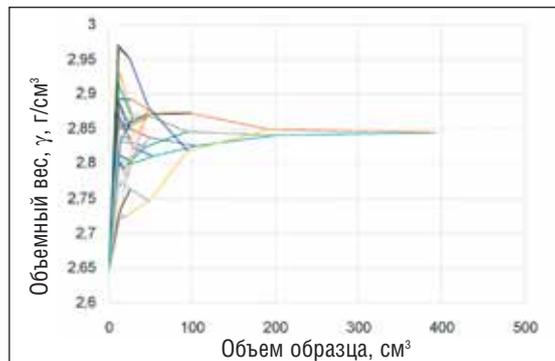


Рис. 1

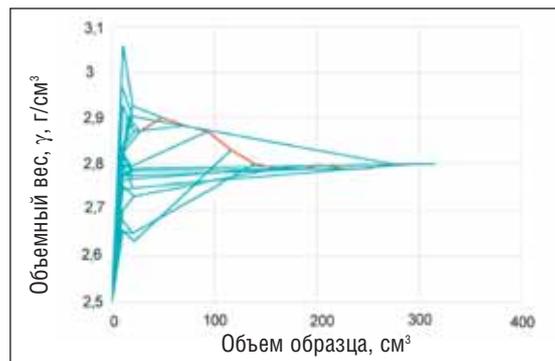


Рис. 2

вес осколков керна на каждом этапе деления в среднем, хотя и незначительно, был ниже исходного, что также может свидетельствовать об увеличении объема минерального скелета в процессе его дезинтеграции. Хотя подобные опыты и позволяют обнаружить факт увеличения объема минерального скелета горных пород в процессе его дезинтеграции, количественное их описание, как и в предыдущем случае, достаточно затруднительно вследствие трудности учета мелкообломочных фрагментов керна и их дополнительной искусственной повреждаемости.

В конечном итоге лучшим вариантом опытов по изучению влияния дезинтеграции минерального скелета горных пород на показатели их физико-механических характеристик явился стандартный процесс резания кусков керна при подготовке образцов для лабораторных исследований, на что ранее не обращалось должного внимания. Причем, забегая возможно несколько вперед, обращаем внимание, что мы не употребляем термин «свойство», поскольку оно применимо только к одной характеристике горных пород – их удельному весу. Все остальные являются по своей сути параметрами состояния, зависящими от пространственно-временных координат, в

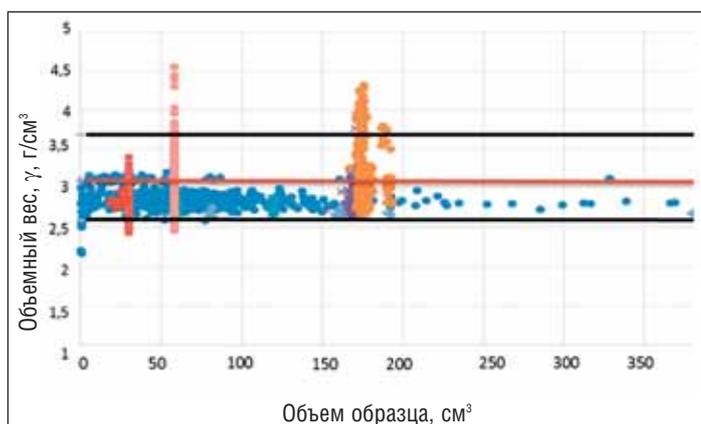


Рис. 3

чем, собственно, и выражается их квантово-механическая сущность.

В этой связи для горных пород взаимосвязь понятий «удельный вес» и «плотность» существенно отличается от их общепринятого применения, например, по отношению к таким средам как кристалл или сплошная упругая среда. Применительно к горным породам их отличает еще и геомеханическое состояние среды. То есть по отношению к характеристике состояния геологической среды эти понятия диаметрально противоположны не только в смысловом, но и в численном выражении, что также указывает на их квантово-механическую природу и важность учета их участия в геомеханических процессах в противоположность ныне действующим представлениям. Влияние напряженно-деформированного состояния элементарного зерна на его массу пренебрежимо мало, на первый взгляд. Однако если учесть «ансамблевое» поведение зерен в составе минерального скелета горных пород, это влияние проявляется уже в существенной пространственно-временной изменчивости их массы в больших объемах вещества.

В качестве доказательства справедливости выше сказанного, на рис. 2, по аналогии с рис. 1, показано конечное положение результатов резания фрагмента зерна на образцы в соотношении их высоты к диаметру 1:1 с тем лишь отличием, что деление зерна осуществлялось последовательно с одного из его торцов к другому. Также как и в предыдущем случае наблюдается закономерное снижение среднего значения объемного веса образцов по отношению к исходному состоянию зерна, причем красным цветом выделено поведение исходных значений объемного веса на каждом из этапов, т. е. той части зерна, от которой отрезается очередной образец.

Не вдаваясь во все детали полученных данных, поскольку возможности их анализа выходят далеко за пределы целевого назначения данной статьи, отметим только, что для зависимости, выделенной на рис. 2 красным цветом, соблюдение законов сохранения массы и энергии выполняется со 100 % точностью. Это должно происходить во всех без исключения случаях и может служить крите-

рием качественности проведения эксперимента. Для совокупности же полученных в процессе резания образцов выполнение аналогичных балансов осуществляется лишь в случае предположения о неизменности изменения объема минерального скелета горных пород в процессе его дезинтеграции.

Но это предположение противоречит полученной при этом величине объемного веса на объеме реза, который превосходит исходное значение в среднем на 6,32 %. Это означает, что для соблюдения плотностного баланса необходимо на эту величину увеличить суммарный объем всех составных частей разрезанного зерна. Аппроксимируя, таким образом, установленную тенденцию на весь объем исходного куска зерна, получаем, что его объемный вес стремится от величины 2,801 г/см<sup>3</sup> к значению в 2,477 г/см<sup>3</sup>, причем в «плотном» теле, поскольку при данном анализе объем реза образца интерпретируется как твердое тело, состояние которого способно сохранять достаточно длительное время приданную ему форму.

Полученная таким образом оценка нижней границы варьирования объемного веса в образце для данной разновидности горных пород хорошо согласуется с результатами массовых определений, представленных на рис. 3\*. Причем здесь круглыми точками синего цвета представлены результаты определений для комплекса пород на строительстве Юкспорского тоннеля № 2.

Точки, развернутые вдоль горизонтальной оси, получены на фрагментах зерна в результате его естественной делимости в процессе отбора. Вертикально развернутые точки получены на образцах, изготовленных из подобных фрагментов зерна разного диаметра и различных петрографических разностей горных пород. Причем в совокупностях данных, содержащих точки, выходящие за пределы верхней горизонтальной черты, представлены, в том числе, результаты измерений на петрографических разностях, содержащих тяжелые рудные минералы. Горизонтальные линии получены по результатам математического моделирования влияния НДС породных массивов на их физико-механические характеристики. При этом среднее значение объемного веса горных пород в условиях их естественного состояния (3,09 г/см<sup>3</sup>, красная линия) получено исходя из условия равновесия на границе «порода-вода» в рамках гравитационной теории формирования НДС породных массивов и средней

плотности воды, порядка 1,03 г/см<sup>3</sup>, характерной для вод мирового океана.

Вообще же полная аналитика данного эксперимента значительно сложнее, и обладает существенно большими интерпретационными возможностями в сравнении с использованными в данной работе. Например, более правильной будет оценка результатов эксперимента, учитывающая различного рода балансы не только по отношению к исходному состоянию зерна, но и на каждом из этапов его делимости. Однако такой анализ требует создания точной математической модели эксперимента и стандартизации его параметров, что на данном этапе исследований не входило в его задачи.

По сути дела результаты данного эксперимента могут рассматриваться в качестве физической основы нового метода исследования свойств и состояния горных пород, методологические возможности которого обладают существенным потенциалом своего развития. В качестве подтверждения этому на рис. 4 в относительном виде представлено распределение величины собственного внутреннего упругого энергетического потенциала, выделенного на объеме в местах резания зерна на отдельные фрагменты. Горизонтальная линия характеризует исходный упругий потенциал исследуемого куска зерна. При этом среднее значение величины этого потенциала в условиях естественного залегания горных пород составляет порядка 19,8 %. Максимальное значение контролируется величиной  $\sqrt{2}$ , т. е. порядка 41,42 %, минимальное – равно нулю. Из рис. 4 следует также, что состояние горных пород в районе второго реза было близко к предельному, т. е. при котором выбуриваемый керн подвергается процессу естественной делимости. Причем состояний, при которых горные породы подвергаются процессу естественной делимости, не менее восьми.

Тот факт, что на графике имеются отрицательные значения объясняется теми же причинами, по которым при измерении напряжений по методу разгрузки фиксируются отрицательные значения деформаций, природа которых, как нам это представляется, достаточно логично объяснена в работе «Интерпретация свойств и состояния горных пород в массиве с позиций общей теории природных систем», опубликованной в Научно-техническом альманахе «Проблемы развития транспортных и инженерных коммуникаций», № 4 за 2002 г. (с. 10–15).

Доказательство проявления горными породами своей квантово-механической природы, как и всего сущего, в принципе, достаточно. Недостаточно понимания самой сущности квантово-механической природы по отношению к физическим объектам среднего иерархического уровня. Одним из основополагающих принципов квантовой механики является принцип неопределенности.

Пределом неопределенности является двойственность. Как только реализуется по-

\*В работах принимали активное участие сотрудники ФГБУН ГОИ КНЦ РАН В. П. Гумеников и А. К. Пак.



Рис. 4



Рис. 5

пытка разрешить эту неопределенность, а это происходит только путем измерений, любой физической объект, т. е. на макроуровне, теряет свою квантово-механическую природу, становясь детерминированным или объектом с фиксированной массой, неспособным к совершению самостоятельно внешней работы. При этом во внутреннем объеме самого объекта содержится определенный энергетический потенциал, направленный на совершение полезной для объекта внутренней работы.

Именно по этой причине существуют такие явления, например, как естественный радиоактивный распад, естественное импульсное электромагнитное поле Земли и, что самое интересное, поскольку это одного физического уровня явления, знакопеременные пространственно-временные деформации крепи горных выработок или их породных обнажений и подобные им другие явления.

Приведенный в данной работе эксперимент однозначно свидетельствует о наличии такого потенциала применительно к горным породам, а равно и его квантово-механической природы образования. Из сказанного выше также следует, что основной формой динамического поведения равновесного состояния горных пород, под которыми подразумеваются, прежде всего, механизмы энерго-массопереноса, является пульсация его объемов различного иерархического уровня, т. е. автоколебания. Дальнейшие рассуждения на эту тему преждевременны, поскольку будут носить интерпретационный, т. е. бездоказательный характер и требуют проведения серьезных дальнейших фундаментальных исследований.

Возвращаясь к доказательной стороне существования собственного внутреннего упругого потенциала горных пород, обращаем внимание, что в случае его отсутствия диапазон варьирования массы вещества, теряемой на резах, должен быть пропорционален диапазону варьирования объема этих резов. Это требование законов сохранения массы и энергии. Собственно сам факт варьирования этих объемов уже является свидетельством существования в горных породах собственной внутренней упругой энергии.

Применительно же к выше описанному эксперименту диапазоны варьирования масс

и объемов отличаются примерно в 2 раза. Мы также не готовы на данный момент времени предметно обсуждать эти результаты, в силу их малочисленности, да и объем публикации не позволяет этого сделать. Отметим только, что на рис. 5 изображен график, по сути, аналогичный рис. 4. С тем лишь отличием, что получен он по результатам независимой от рис. 4 процедуры обработки данных. График на рис. 4 получен по результатам только варьирования объемов, потерянных в процессе резания керна на образцы. Рис. 5 получен по результатам варьирования потерянной при этом массы вещества с учетом модельных представлений, частично представленных на рис. 3 и в предыдущей нашей статье, изложенной на страницах данного журнала.

Отличие этих графиков на количественном уровне составляет в среднем порядка 6,1 %, что не только иллюстрирует фундаментальное значение полученного результата, но и в целом правильность представлений, положенных в основу математического моделирования влияния НДС породных массивов на их физико-механические характеристики. Используемые при этом формулы теории упругости были дополнены оператором, отвечающим за изменчивость значений плотностных и упругих характеристик горных пород в зависимости от параметров их НДС.

Все изложенное выше позволяет утверждать, что решения, основывающиеся на применении теории упругости в задачах механики горных пород, в лучшем случае могут быть оправданными лишь на этапе формирования начальных условий, но не в качестве окончательных решений. При этом источником силовых нагрузок, например на крепь горных выработок, являются физико-механические процессы, обусловленные исключительно энергетическим потенциалом приконтурного массива вследствие его частичного высвобождения за счет возникновения породных обнажений горных выработок. Это меняет представления о физике процессов, воспринимаемых на практике как проявления горного давления, обусловленные действием в верхних слоях земной коры горизонтально ориентированных тектонических напряжений.

Указанная выше невязка, по всей видимости, может быть объяснена не учетом величины уп-

ругого потенциала в самом объеме реза. Во всяком случае, потеря массы вещества при резании образцов составила 6,9 % от исходного состояния керна, т. е. практически те же 6 %, если учесть возможные погрешности измерений.

Таким образом, можно считать доказанным, что формулировка о неизменности объема минерального скелета горных пород при его дезинтеграции, в принципиальном отношении, является некорректной. Однако в зависимости от угла зрения на проблему или, по-другому, положения точки отсчета, могут возникать ситуации, когда на интегральном уровне эти изменения себя не проявляют, т. е. не являются направленными на совершение внешней по отношению к объему механической работы. Это может означать, что регистрируемые, например, методом разгрузки упругие деформации горных пород могут иметь разную природу или причины их возникновения. То есть они могут быть следствием как существования в горных породах свободных упругих напряжений, так и результатом их высвобождения вследствие существования упругой энергии в потенциальной форме или то и другое вместе. Во всяком случае, существование таких понятий как «тектонически активные» структурные нарушения горных пород и «тектонически неактивные» вполне могут быть подтверждением сказанному.

Весьма существенное обстоятельство для разработки более адекватных физических представлений о процессах, протекающих в недрах земли, прежде всего в верхних ее слоях. Но это уже интерпретация, не основанная на научно обоснованных фактах. Для создания предпосылок разработки более приемлемой в практических целях теории требуется серьезное переосмысление уже имеющихся представлений, сформулированных в рамках ныне действующей в геомеханике так называемой механистической парадигмы, и корректировка текущих исследований в свете изложенных выше представлений. Причем уже на данном этапе исследований можно с уверенностью утверждать, что величина упругого энергетического потенциала горных пород во всех без исключения случаях пропорциональна их объемному весу с поправкой на величину удельного веса.

# МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ СТРУКТУРЫ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ПОРОД ТОННЕЛЯ НА ОСНОВЕ СЕЙСМОТОМОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Н. Н. Абрамов**, к. т. н., старший научный сотрудник, Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты

**Ю. А. Епимахов**, д. т. н., зав. Лабораторией, Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты

**С. В. Шипицын**, заместитель главного инженера, ФГУП «УС-30»

Нарушенность массива является одной из важнейших характеристик, определяющих структуру, геомеханическое состояние и устойчивость подземных горных выработок и тоннелей, чему посвящено немало исследований [1, 2]. Сейсмотомографический мониторинг нарушенности скального массива в своем традиционном применении в качестве основных характеристик массива использует соотношения скоростей проходящих продольных и поперечных сейсмических волн [2, 3]. Однако, как показывает практика, категорирование массива по степени нарушенности, с его помощью, недостаточно эффективно на участках массива с размером отдельностей (блочности) менее 1,0–1,5 м. Это объясняется тем, что волны сейсмического диапазона, обладая длинами, существенно превышающими размеры этих неоднородностей, обуславливают практическую инвариантность скоростей от размера неоднородности. С другой стороны, рассматривая скальный массив как динамическую блочную среду, наделенную упругими свойствами вмещающих пород, можно допустить, что поведение этой среды при внешних воздействиях будет аналогично поведению динамической колебательной системы и может быть описано величиной добротности системы:

$$Q_i = \frac{f_0}{\Delta f},$$

показывающей во сколько раз запасы энергии в системе без трещин больше, чем потери энергии за один период колебаний, вызванные ростом нарушенности среды трещинами, что может быть использовано для оценки нарушенности массива при прохождении через него сейсмических волн. На рис. 1 видно различие спектральных характеристик, полученных при сейсмопросвечивании массива с трещинами (кривая б) и без них (кривая а). Различия проявляются как в отличии амплитуд спектральных максимумов, так и в различных полосах частот, отсчитанных на уровне

$$\alpha = A_{\max} / \sqrt{2}$$

от максимума  $A_{\max}$ . Расчет добротности колебательной системы, как отношение

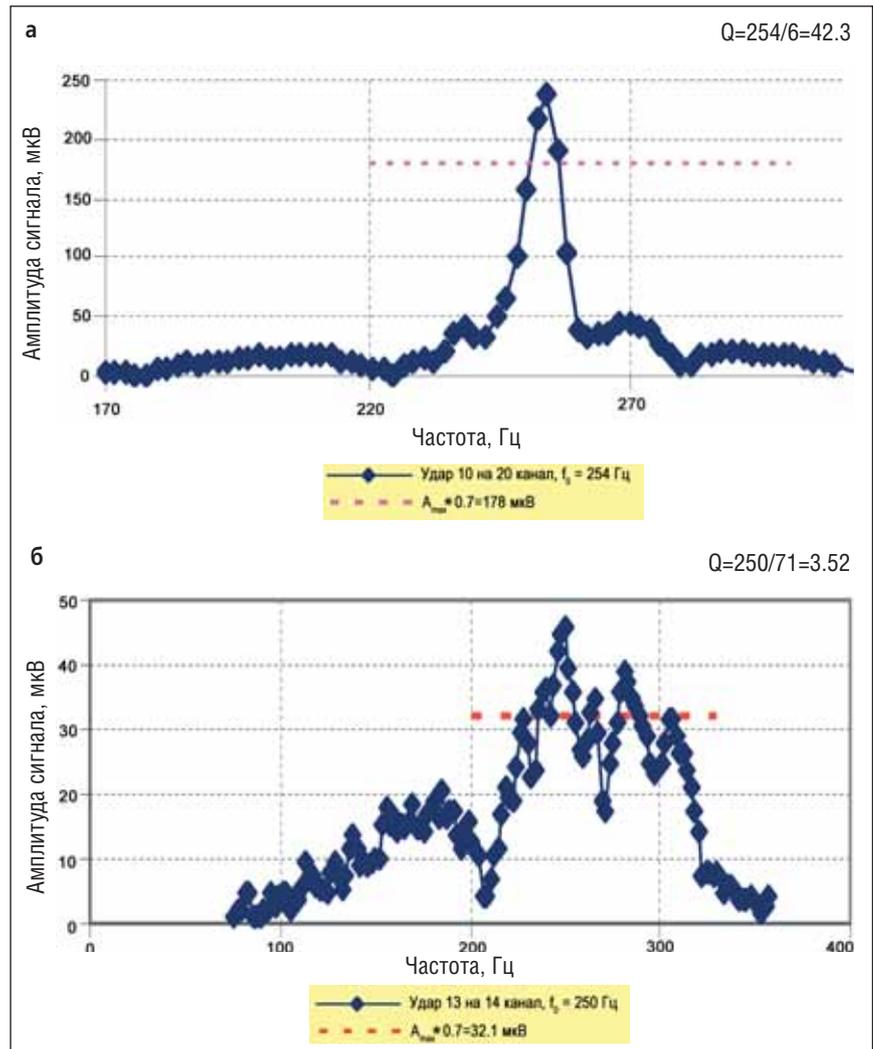


Рис. 1. Амплитудно-частотные характеристики по сейсмическим лучам № 10 и 13

частоты спектрального максимума к ширине полосы частот в пределах значений амплитуд, превышающих  $\alpha$ , дает различные результаты для массива без трещин ( $Q = 42,3$ ) и с трещинами ( $Q = 3,62$ ), соответственно, создавая предпосылки для оценки структурного деления массива нарушениями.

К сожалению, на сегодняшний день проблема взаимосвязи частотных спектров колебаний с размером отдельностей массива исследована недостаточно. Согласно теоретическим представлениям строительной механики, частота собственных колебаний твердого объекта, обладающего упругими свойствами

ми, обратно пропорциональна его поперечному размеру ( $f_0 \sim 1/h$ ). Тогда, теоретически, более мелкая отдельность породы (блок) может обладать более высокой частотой собственных колебаний  $f_0$ , и наоборот. Это и отражается в форме частотных спектров упругих колебаний при их прохождении через скальный массив. Используя эти рассуждения [4], теоретическая связь размера блока породы и частоты его собственных колебаний, в зависимости от свойств породного блока – величин скоростей распространения продольных упругих волн  $V_p$ , описывается кривыми рис. 2.

Таблица

Результаты определений показателя относительной добротности массива  $\Delta$  для различной нарушенности пород

Категория нарушенности массива	Степень нарушенности массива	Среднее расстояние между трещинами, м	Относительная добротность, $\Delta = Q_i/Q_{max}$
I	Чрезвычайно нарушенный	до 0,1	0,5–0,8
II	Сильно нарушенный	0,1–0,5	
III	Средне нарушенный	0,5–1,0	0,8–0,94
IV	Слабо нарушенный	1,0–1,5	0,94–1,0
V	Сохраненный	более 1,5	

Анализ графика полученной зависимости (рис. 2) показывает, что более высокой частотой спектра обладают более мелкие отдельные массивы. Тогда спектры, представленные на рис. 1, для  $f_0 = 250$  Гц, будут характерны для блоков породы размерами 0,8–1,5 м.

Конечно, скальный массив достаточно сложная среда, и такое допущение может быть слишком упрощенным. Однако, используя современные цифровые регистраторы, при анализе спектра проходящих через массив волн можно добиться адекватной оценки добротности обследуемой динамической системы и, соответственно, оценки нарушенности массива.

Используя известную пятикатегорную шкалу оценки степени нарушенности скального массива пород [5], при проведении сейсмотомографических наблюдений вокруг тоннелей в скальных массивах определены реальные диапазоны варьирования величин относительной добротности динамической блочной системы скального массива  $\Delta = Q_i/Q_{max}$ , характерные для массивов разной степени нарушенности. Результаты исследований контроля изменчивости показателя  $\Delta$  на Юкспорском тоннеле приведены в табл. и на рис. 3.

Как видно из приведенного рисунка, информативность предложенного показателя  $\Delta$  особенно высока при выявлении сильно нарушенных структур массива I–II категорий нарушенности, и если учесть, что концентрация таких зон массива приурочена, в основном, к обнажениям подземных тоннелей и ответственна за их устойчивость, то становится очевидным значимость достоверного определения данного показателя.

Таким образом, показатель относительной добротности динамической блочной системы скального массива, определяемый по спектрам проходящих сейсмических волн, наряду с известными скоростными критериями оценки нарушенности массива пород существенно дополняют и расширяют возможности сейсмотомографического мониторинга массива.

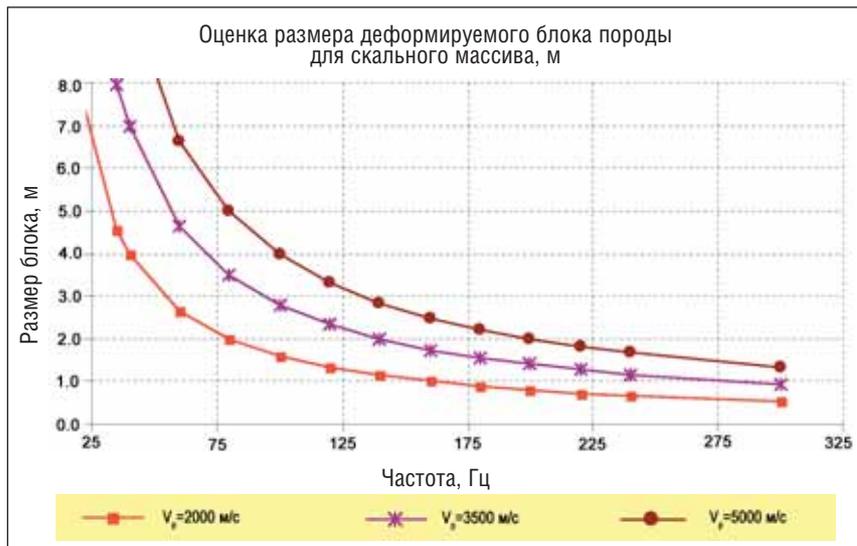


Рис. 2. Расчетные величины размера породного блока в зависимости от частоты вынужденного вибровоздействия и свойств среды

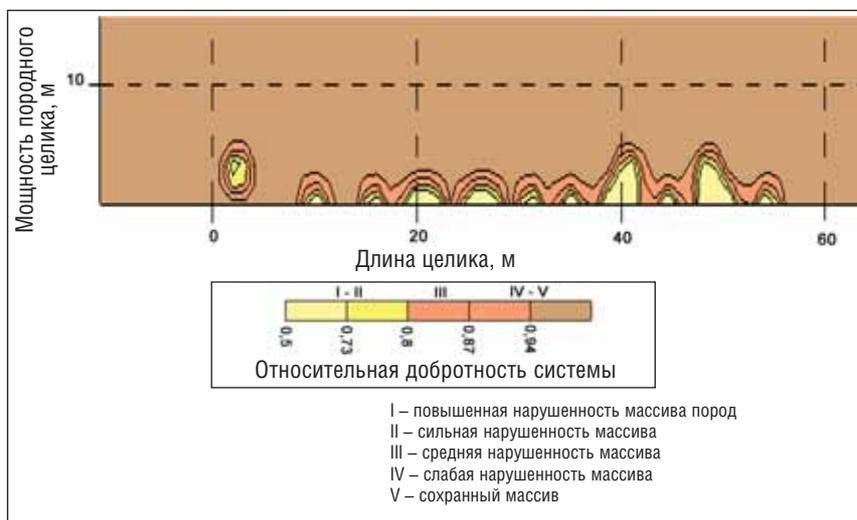


Рис. 3. Фрагмент сейсмотограммы распределения величины относительной добротности системы  $\Delta = Q_i/Q_{max}$  в приконтурном массиве тоннеля по данным натуральных измерений

**Литература**

1. Мельников Н. Н., Калашиник А. И. Инновационные георадарные технологии изучения подповерхностной структуры и состояния природно-технических систем / Вестник КНЦ, 2010. – № 3. – С.4–8.  
 2. Абрамов Н. Н., Ермахов Ю. А., Ткаченко А. П., Савельев В. В., Клевакин И. А. Организация геофизического мониторинга состояния подземных сооружений Верх-

не-Туломской ГЭС. Гидротехническое строительство, № 8, 2011, с.10–15.  
 3. Никитин В. Н. Основы инженерной сейсмологии. М., Изд-во МГУ, 1981, 176 с.  
 4. Абрамов Н. Н., Ермахов Ю. А. Сейсмический контроль состояния подземных гидротехнических сооружений, Технологии сейсморазведки, № 3, 2010  
 5. Мосин В. М., Абрамов А. В. Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород. М, Недра, 1982, 248 с.

# РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КРЕПЛЕНИЯ НА ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ ХИБИН

Ю. Г. Смирнов, научный сотрудник, Горный институт КНЦ РАН  
А. О. Орлов, научный сотрудник, Горный институт КНЦ РАН



Рис. 1. Крепление Юкспорского тоннеля № 2

**В статье рассмотрен передовой опыт крепления горных выработок на Хибинских апатит-нефелиновых месторождениях. Представлены результаты исследований прочности набрызг-бетонной крепи неразрушающим методом.**

**В** настоящее время Хибинские месторождения апатит-нефелиновых руд обрабатывают два горнодобывающих предприятия ОАО «Апатит» и СЗФК «Олений ручей» (работающий карьер и строящийся подземный рудник). Инженерно-геологические условия пород месторождений характеризуются склонностью к проявлению горного давления в динамических формах, вплоть до горных ударов. Характерная особенность Хибинского горного массива – отсутствие смещений на контуре горных выработок и действие сложного поля напряжений, обусловленного как гравитационными, так и тектоническими силами. На контуре выработки концентрация сжимающих напряжений в 2–3 раза выше, чем в нетронутом массиве. За последние годы в технологии крепле-

ния при строительстве горных выработок на данных предприятиях произошли определённые положительные изменения. Большим резервом повышения эффективности работы горнодобывающих предприятий является внедрение новых конструкций крепи и средств механизации процесса крепления.

В последнее время на подземных рудниках ОАО «Апатит» широко применяются облегчённые виды крепи, удельный вес которых составляет более 95 %. К ним относятся: железобетонные штанги, набрызг-бетон и комбинированная крепь (железобетонные штанги с набрызг-бетоном). Практически основным видом крепления горных выработок является набрызг-бетон, что явилось одной из предпосылок для расширения области его применения [1].

Для улучшения физико-механических свойств набрызг-бетонной смеси используется пластифицирующая добавка glenium (глениум), которая кроме того позволяет снизить расход воды и энергозатраты при производстве бетонных работ. Для уменьшения времени схватывания при производстве бетонных работ широкое распространение получили ускоряющие добавки.

При ведении набрызг-бетонных работ непосредственно в сопло автоматизированного агрегата «Спреймек» добавляется нещелочной ускоритель схватывания Meuco SA 167 (Мейко СА 167), представляющий собой жидкую добавку, дозировку которой можно регулировать в целях достижения желаемого времени схватывания и твердения. Дозировка ускорителя схватывания зависит от температурных условий, химической реактив-



Рис. 2. Общий вид транспортной штольни

ности используемого цемента и от требуемой толщины наносимых слоев набрызг-бетона, времени схватывания и развития скорости набора ранней прочности. Расход ускорителя схватывания серии Meuso SA 167 обычно находится в пределах от 3 до 10 % от массы вяжущего.

Характерным примером использования прогрессивных технологий в области крепления горных выработок можно считать строительство для ОАО «Апатит» Юкспорского тоннеля № 2 сечением в свету 49,4 м<sup>2</sup> (рис. 1).

Строительство велось ФГУП «УС-30» в сложных горно-геологических условиях. Напряжённо-деформированное состояние осложнено наличием тектонической составляющей, оцениваемой в 20–40 МПа. Участок проходки по геомеханическим условиям отнесён к «склонному» по горным ударам. Мощность отдельных окисленных нарушенных зон достигала 20 м [2]. Строительство тоннеля позволило применить на практике современные способы проходки и крепления, которые могут быть использованы в условиях высоконапряженных горных пород.

Основной тип крепления – 200 мм слой набрызг-бетона (80 %) с базальтовой фиброй, укладываемый по дорожной сетке. Временная крепь – железобетонные и сталеполимерные анкеры. На участках пересечения трассы тоннеля разломных зон применялась монолитная железобетонная крепь, параметры которой обусловлены их мощностью и устойчивостью.

При строительстве была применена технология гидроизоляции с помощью нанесения напыляемых мембранных покрытий разработки фирмы BASF-MEYCO, а также технология проходки наиболее мощных разломных зон под защитой экранов из металлических перфорированных труб, уста-

навливаемых в приконтурном массиве кровли тоннеля и заполненных под давлением цементно-песчаной смесью.

Для устройства дренажа грунтовых вод и ликвидации протечек воды на Юкспорском тоннеле применили новые технологии компании BASF. Комплекс мероприятий включал:

- создание каналов из армированного ПВХ шланга, закреплённого на поверхности обнажения горных пород;
- предварительное нанесение на породное обнажение способом напыления гидроизоляционного материала типа Masterseal 845A или MEYCO TSL 865;
- организацию в теле обделки в виде отверстий дренажных каналов с последующим их тампонажем и блокированием мест ак-

тивных протечек воды водонепроницаемой дренажной тканью Masterseal DR1.

Данные технологии применялись преимущественно на участках расположения слабостойчивых окисленных зон [4].

Ведение горных работ в ухудшающихся горно-геологических условиях особенно остро ставит вопрос обеспечения безопасности, в связи с чем вопросы поддержания горных выработок и контроль за их состоянием в течение всего срока эксплуатации приобретают всё большую актуальность. Вследствие этого организация мониторинга крепи горных выработок является одной из первоочередных практических задач [5].

На месторождении «Олений ручей» в настоящее время ведется строительство подземного рудника, для чего проходится и закреп-

Рис. 3. Технология нанесения набрызг-бетона





Рис. 4. Контроль прочности бетона неразрушающим способом



Рис. 5. Общий вид анкера «свеллекс» в раскрытом и первоначальном положениях

ляется большое количество горных выработок. В качестве основного вида крепи применяется набрызг-бетонная крепь, сопряжения усиливаются тросовыми анкерами. Для их возведения используются автоматизированные средства механизации импортного производства. Общий вид транспортной штольни приведен на рис. 2, технология возведения набрызг-бетонной крепи – на рис. 3.

Учитывая преобладающее значение для крепления выработок набрызг-бетона, в натурных условиях сотрудниками Горного института КНЦ РАН были заложены наблюдательные станции для определения фактической прочности набрызг-бетонной крепи. Площадки для производства замеров прочностных характеристик формировались на стенке выработки методами шлифовки ал-

мазным диском и вдавливания на поверхности свежесушеного набрызг-бетона.

Контроль прочности набрызг-бетонной крепи в горных выработках осуществлялся через 28 суток (нормативное время твердения бетона) с использованием электронного склерометра Шмидта. Прибор предназначен для определения прочности бетона в диапазоне от 5 до 70 МПа при температуре от –10 до + 60 °С. Действие прибора основано на методе упругого отскока. Процесс производства работ по определению прочности набрызг-бетона приведен на рис. 4. Прочность набрызг-бетонной крепи, замеренной в подземных условиях, составляла соответственно 29–32 МПа, при среднем значении 30,5 МПа, что соответствует классу бетона по прочности В22,5.

На подземном руднике СЗФК «Олений ручей» специалистами российского отделения шведской фирмы Atlas Copco проведены тестовые испытания штанговой крепи фрикционного типа «свеллекс». Анкеры данной конструкции могут устанавливаться непосредственно в забое выработки без отставания крепи, что способствует высокой скорости проходки и повышению безопасности работ.

Эти типы анкеров изготавливаются из стальных труб специального профиля (рис. 5). Технология возведения штанг включает установку анкера в шпуре при помощи высоконапорного насоса при давлении воды до 300 атм, после чего происходит раскрепление анкера по всей длине шпура. Известно несколько вариантов таких штанг для различных горно-геологических условий. При проведении испытаний на подземном руднике СЗФК «Олений ручей» применялись анкеры диаметром 28 и 38 мм и размещались в шпурах 42 и 51 мм соответственно. При контрольном выдергивании несущая способность анкеров составляла 140–170 кН.

В заключение необходимо отметить, что современный подход к решению безремонтного поддержания выработок в течение всего срока их эксплуатации основывается на максимальном использовании несущей способности окружающего массива путем активного его вовлечения в работу системы «крепь-порода». Одним из действенных путей повышения собственной несущей способности массива является упрочнение связей по контактам структурных блоков. Обеспечение устойчивости выработок в сложных горно-геологических условиях наряду с проведением специальных профилактических мероприятий может быть достигнуто применением облегченных типов крепи, при этом необходимо использовать элементы Новоавстрийского метода строительства тоннелей (НАМТ).



#### Литература

1. Запорожец В. Ю., Смирнов Ю. Г., Орлов А. О. Крепление горных выработок на подземных рудниках ОАО «Апатит» // Горный журнал. – 2004. – № 9. С.56–58.
2. Мельников Н. Н., Етимахов Ю. А., Абрамов Н. Н., Кабеев Е. В. Сотрудничество науки и производства – залог эффективного и безопасного строительства подземных сооружений // Метро и тоннели. – 2013. – № 6. – С. 10–13.
3. ГСК – Юкспорский тоннель № 2 URL: <http://www.gs-comp.ru/obekty/yuksporskij-tonnel-2.htm>
4. Абрамчук В. П., Педчик А. Ю., Кулаков С. Ю., Максимов А. А., Костенко В. В. Применение гидроизоляционной технологии на строительстве Юкспорского тоннеля // Метро и тоннели. – 2011. – № 4. – С. 4–9.
5. Орлов А. О., Смирнов Ю. Г. Мониторинг прочности набрызг-бетонной крепи в горизонтальных выработках // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 4. – С. 28–30.

## ЗАКЛАДНЫЕ, СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ И МОНТАЖНЫЕ ДЕТАЛИ

для тоннельной обделки из полимерных материалов, изготавливаемые в рамках программы импортозамещения.

Детали, работающие в условиях заданных нагрузок, испытаны в ОАО «ЦНИИС».

Сроки поставок 7-10 дней.

Оптимальное соотношение "цена-качество".



**(495) 775-18-00**

[www.pmserv.com](http://www.pmserv.com)

## НАСОСЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

**Агрегаты одновинтовые серий АПНВ и ОНВ  
производительностью от 0,1 до 100 м<sup>3</sup>/ч**



**РАЗРАБАТЫВАЕМ  
ПРОИЗВОДИМ  
ОБСЛУЖИВАЕМ**

Одновинтовые насосы предназначены для перекачки чистых и загрязненных компонентов малой и высокой вязкости. Конструкция насосов позволяет решать широкий спектр задач при проведении строительных работ.

**Агрегаты применяются:**

- для инъектирования цементных и других составов
- при контрольном нагнетании
- для подачи бентонита
- для кондиционирования грунта (система пеногенерации, подача полимеров)
- и для других строительно-монтажных работ

## Преимущества

- Возможность перекачивать составы, содержащие абразивные включения
- Высокая всасывающая способность
- Отсутствие всасывающих и нагнетательных клапанов обеспечивает надежность при эксплуатации
- Хорошие дозирующие характеристики (например, при смешивании нескольких компонентов)
- Равномерная (без пульсаций) подача состава
- Возможность изменения направления подачи на противоположное
- Простота в обслуживании (нет необходимости регулировки зазоров рабочих элементов насоса при ремонте и повторной сборке)
- Создают давление до 20 бар



**ремонтируем  
импортные винтовые насосы**

# ЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В ЗОНЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ТОННЕЛЕЙ ЗАКРЫТОГО СПОСОБА РАБОТ\*

В. А. Гарбер, д-р техн. наук, НИЦ «Тоннели и метрополитены» ОАО ЦНИИС

## Метод типовых кривых (МТК)

В упомянутом во введении «Руководстве по оценке и предотвращению аварийных деформаций зданий и сооружений при строительстве объектов метрополитена» описан расчет деформаций земной поверхности по методу типовых кривых.

Метод основан на типовой кривой Гаусса:

$$S(x) = S_0 e^{-(x^2/l^2)},$$

где  $S(x)$  – осадка поверхности;

$S_0$  – максимальная осадка;

$x$  – расстояние от оси мульды.

Для определения параметров  $S_0$  и коэффициента  $a$  используются следующие предпосылки:

$B$  – ширина мульды деформаций;

$B = (D + 2H \sin \mu) / \cos \mu$ ,

где  $D$  – диаметр выработки;

$H$  – глубина заложения тоннеля;

$\mu = 45^\circ - \varphi$ ;

$\varphi$  – средневзвешенный угол внутреннего трения;

• в крайних точках значение мульды осадок не превышает 5 мм;

• площадь мульды деформаций равна площади переборов в забое и площади, равной разнице площадей поперечных сечений щита и обделки (рис. 2).

Расчет по методу типовых кривых производится в каждой точке мульды сдвижения по формулам:

$$\eta(x) = \eta_0 S(z),$$

$$i(x) = \frac{\eta_0}{L} S'(z),$$

$$K(x) = \frac{\eta_0}{L} S''(z),$$

$$z(x) = \eta_0 F(z),$$

(1)

$$\varepsilon(x) = \frac{\eta_0}{L} F'(z),$$

где  $\eta(x)$  – оседание в точке  $x$ , если начало координат в точке максимального оседания;

$\eta_0$  – величина максимального оседания;

$L$  – длина полумульды в главном сечении, определяемая графически;

$i(x)$  – наклон;

$K(x)$  – кривизна;

$z(x)$  – горизонтальный сдвиг;

$\varepsilon(x)$  – горизонтальная деформация,  $z = \eta_0/L$ .

Обычно берутся  $x = 0, 1L; 0, 2L; \dots, L$ , т. е.  $z = 0, 1; 0, 2; \dots, 1$ , и в этих точках путем измерения находят значения  $S(z), S'(z), S''(z), F(z), F'(z)$ , а затем вычисляются по формулам (1) и строят графики главных сечений мульды сдвижения.

## Аналитический метод

Основоположник современной теории сдвижения горных пород при ведении подземных работ С. Г. Авершин делит процесс сдвижения на три стадии: нарушение распределения напряжений в массиве горных пород проведением выработки, пластическое течение горных пород, вышедших из равновесного состояния, и уплотнение переместившихся массивов горных пород. Первая стадия может быть описана математически методами теории упругости, вторая и третья – методами теории пластичности.

Используя ряд положений, выведенных по результатам наблюдений, С. Г. Авершин получил приближенную формулу для определения мульды осадок поверхности:

$$\eta(x) = \eta_0 \left( I - \frac{x}{2,13l} \right)^{4,54} \cdot l^{2,13 \frac{x}{l}},$$

где  $x$  – горизонтальное расстояние от рассматриваемой точки до точки с максимальной осадкой вдоль главного сечения;

$l$  – расстояние от точки максимальной осадки до точки перегиба;

$\eta_0$  – величина максимального оседания.

Неизвестные величины  $\eta_0$  и  $l$  должны оцениваться по опытным данным в аналогичных условиях или по частично полученной кривой фактических оседаний по известным их скоростям.

## Метод равных площадей

Этот метод предложен проф. Г. А. Гениевым для определения перемещений в грунте, возникающих вследствие полных или частичных завалов подземных выработок произвольной формы.

Пусть имеем выработку произвольного очертания (рис. 3), контур которой –  $ab$  описан аналитическим выражением, и свободную поверхность грунта –  $AB$ , также имеющую произвольную форму.

Для определения перемещения грунта в случае завала выработки будем исходить из следующих гипотез.

1. Перемещение грунта осуществляется в области  $aABb$ , ограниченной кривыми  $AB, ab$  и прямыми  $aA$  и  $bB$ , касательными к контуру выработки, проведенными под некоторым углом  $\varphi$  к горизонту. Величина угла  $\varphi$  является константой для данной породы и приближенно можно считать

$$\varphi = \frac{\pi}{4} + \frac{\rho}{2},$$

где  $\rho$  – угол внутреннего трения.

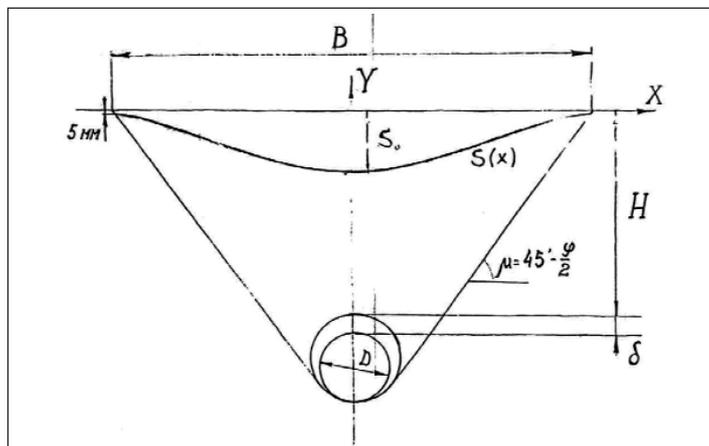


Рис. 2

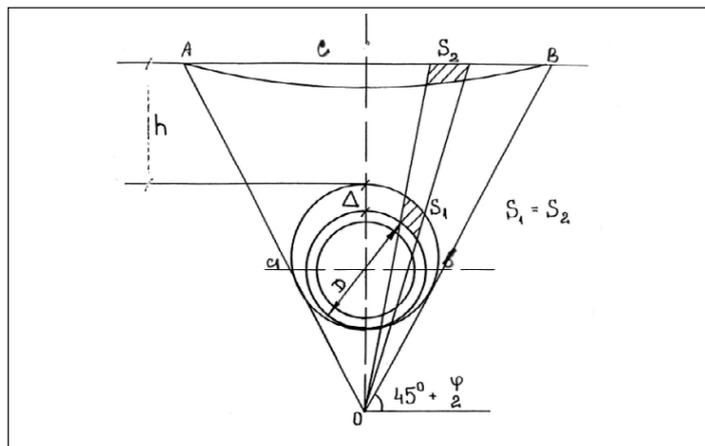


Рис. 3

\*Окончание статьи (начало читайте в предыдущем номере журнала)

2. Траектории перемещения грунта представляют собой прямые линии, проходящие через т. *O* – точку пересечения прямых *Aa* и *Bb*, которая называется фокусом мулды.

3. Перемещение произвольной точки *C* поверхности *AB* определяется из условия равенства площадей элементарных четырехугольных секторов  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$ , которые получаются в сечении сектора.

Последняя гипотеза, предполагающая несжимаемость горной породы, обеспечивает выполнение условия сплошности среды.

Уравнение мулды:

$$r_o(\xi) = \left[ r^2(\xi) - (r_2^2(\xi) - r_1^2(\xi)) \right]^{0.5}.$$

Следовательно, значение радиального перемещения т. *C* земной поверхности определяется выражением:

$$\begin{aligned} z_o &= r(\xi) - r_o(\xi) = \\ &= r(\xi) - \left[ r^2(\xi) - (r_2^2(\xi) - r_1^2(\xi)) \right]^{0.5}. \end{aligned}$$

Вертикальная и горизонтальная составляющие перемещения будут:

$$\begin{aligned} U_v &= U_r \sin \xi = -z_o \sin \xi, \\ U_x &= U_r \cos \xi = -z_o \cos \xi. \end{aligned}$$

Так как  $r(\xi) = \frac{H(\xi)}{\sin \xi}$ , где  $y = H(\xi)$  – ордината

точки поверхности, то отсюда можно записать значение вертикального перемещения  $v_o = |U_v|$ .

$$\begin{aligned} v_o &= z_o \sin \xi = H(\xi) - \\ &- \left\{ H^2(\xi) - [r_2^2(\xi) - r_1^2(\xi)] \sin^2 \xi \right\}^{0.5}. \end{aligned}$$

Для случая горизонтальной земной поверхности, когда  $H(\xi) = H = const$ , рассматриваются некоторые конкретные формы выработок.

Таким образом, метод равных площадей применим, в основном, для сыпучих тел. К его достоинствам следует отнести простоту расчета мулды сдвига (см. рис. 3).

### Метод конечных элементов

В 80-х годах прошлого века с развитием электронно-вычислительной техники и широким распространением Новоавстрийского способа сооружения тоннелей в практику прогнозирования осадок поверхности вошло использование метода конечных элементов.

Метод конечных элементов имеет ряд достоинств, благодаря которым он все больше входит в практику проектирования. К ним относится возможность учета неоднородного строения массива горных пород, различных характеристик прочности и плотности грунтов, последовательность разработки и крепления грунта, введения в расчет с помощью специальных элементов трещины, зоны сдвига, пластические зоны и т. п. Высокоразвитым итерационным процессом можно от-

разить очень сложный нелинейный закон деформирования горного массива, набор прочности набрызг-бетоном, разупрочнение массива, предельное напряженное состояние средств крепления. Возможен учет снижения уровня грунтовых вод при прогнозе осадки поверхности. С помощью пространственных конечных элементов возможно моделирование всех тонкостей технологического процесса строительства и особенностей инженерно-геологического строения горного массива, которые по опыту могут заметно повлиять на величину расчетных осадок поверхности.

Конечным элементам, моделирующим грунт, придаются свойства упругопластической среды; как правило, принимают, что обделка работает в упругой стадии.

К недостаткам метода следует отнести:

- основная процедура МКЭ обеспечивает решение линейных задач – зависимости напряженно-деформированного состояния среды с линейно-упругой связью напряжений и деформаций; получение различных нелинейных решений достигается многократным повторением линейных решений;

- проверку надежности метода можно осуществлять пока лишь апробированием каждой программы на решениях, полученных при натуральных измерениях;

- решение существенно зависит от выбранной сетки, удачное построение которой является не формализуемой процедурой и определяется знанием горного массива и спецификой выработки.

В основе построения расчетной модели по прогнозированию деформаций поверхности лежат следующие представления.

Перед проходкой выработки в грунте действуют напряжения, вызванные его собственным весом, так как опыт показывает, что для тоннелей метрополитена тектоническими напряжениями в грунте можно пренебречь. При разработке грунта в забое исчезают нормальные и касательные напряжения, действовавшие в массиве грунта до образования выработки на ее поверхности. Вследствие этого вокруг выработки образуется зона концентрации напряжений, и происходят деформации, которым ранее препятствовал заполнявший выработку грунт. Если полные напряжения не превосходят прочности грунта, то происходят только упругие деформации, если же прочность грунта ниже возникающих полных напряжений, то деформации происходят до тех пор, пока грунт не заполнит технологический зазор и деформация не будет остановлена сопротивлением временной крепи или постоянной обделки.

Зона деформаций, возникающих сначала вокруг выработки, достигает поверхности, смещения которой и нуждаются в прогнозной оценке.

Расчет деформаций поверхности производится в две стадии. На первой стадии рассчитывают деформации грунтового массива до проходки выработки от действия собственного веса.

На второй стадии, которая может состоять из нескольких этапов, рассчитывают также деформации от действия собственного веса, но при частично или полностью ослабленных элементах, заполняющих внутри контур выреза (жесткость снижается пропорционально количеству шагов).

На каждом шаге решается упругая задача, после получения решения производят проверку соблюдения условия прочности в каждом элементе и при необходимости корректируют жесткость элемента.

Смещения любого узла, в том числе и на границе полуплоскости, определяются разностью рассчитанных деформаций на данном шаге и на первой стадии.

При поэтапном строительстве подземного сооружения (поочередная проходка перегонных или станционных тоннелей, разработка и подкрепление выработки по частям) расчеты деформаций поверхности ведутся в соответствии с принятой технологией строительства последовательно для каждого этапа.

Исходные данные, необходимые для расчетов, подразделяются на несколько типов: инженерно-геологические, геометрические, характеристики обделки и технологические.

К инженерно-геологическим данным относятся расположение и мощность пластов горных пород, попадающих в рассматриваемый поперечник (сечение, перпендикулярное оси тоннеля на заданном пикете трассы), а также характеристики каждого типа пород, попадающих в поперечник: объемный вес, модуль деформации, коэффициент Пуассона, сцепление и угол внутреннего трения.

Геометрические данные характеризуют расположение выработки (заложение), расстояния между осями тоннелей, если их несколько, и очертания неподкрепленной выработки в свету.

К технологическим исходным данным относятся очередность сооружения тоннелей или порядок разработки сечения и момент вступления конструкции или обделки в работу, который входит в расчет через величину начального технологического зазора.

Величина начального технологического зазора зависит от технологии сооружения тоннеля (щитовой или горный способ) и от пластических свойств горного массива в совокупности с действующими напряжениями.

При щитовом способе строительства тоннеля возможный технологический зазор складывается из величины переборок грунта, толщины оболочки щита  $\delta_{об}$  и строительного зазора  $\delta_{стп}$  между обделкой и оболочкой щита.

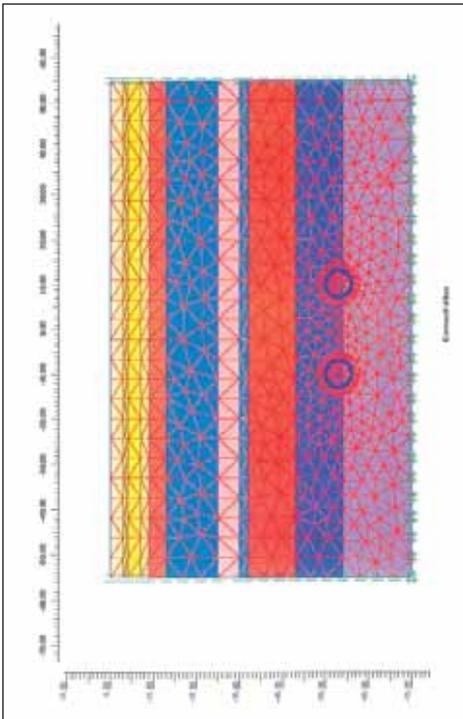


Рис. 4. Расчётная модель ПК 55

Начальный технологический зазор определяют по формуле:

$$\delta = \delta_{\text{пер}} + \delta_{\text{ср}} + 2\delta_{\text{об}}.$$

Величина переборов  $\delta_{\text{пер}}$  вычисляется из зависимости:

$$\delta_{\text{пер}} = R \frac{F_{\text{пер}}}{100\%},$$

где  $F_{\text{пер}}$  – площадь перебора в %;  
 $R$  – радиус выработки.

Прогноз деформаций земной поверхности при проходке должен выполняться с использованием расчетных параметров грунта в предположении заполнения де-

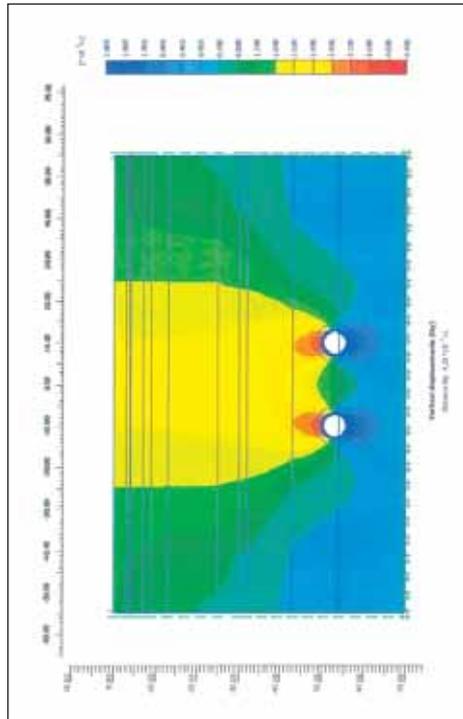


Рис. 5. Вертикальные перемещения ПК 55

формирующимся грунтом начального технологического зазора, после чего выработка подкрепляется.

Предельная (расчетная) величина возможных деформаций может быть получена в расчете как для неподкрепленной выработки, что предполагает возможность нарушений принятой технологии (сверхнормативные переборы, позднее заполнение тампонируемого пространства, допущение вывалов в забое и т. д.).

В последнее 10-летие началось широкое внедрение расчетов мультимедийной поверхности с использованием мощ-

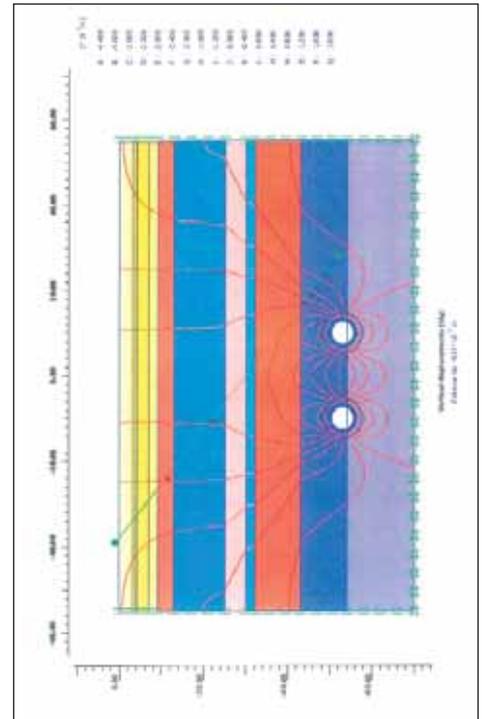


Рис. 6. Изолинии вертикальных перемещений ПК 55

ной поверхности с использованием мощных геотехнических комплексов «PLAXIS», «FLAC», «Z-SOIL» и др.

Одним из достоинств этих расчетов является возможность наглядного представления реально ожидаемой мульды оседания произвольного (не условного) очертания.

Ниже представлены примеры расчетов мульды оседания по комплексу «PLAXIS» для проектируемых в настоящее время новых линий метрополитена в г. Москве (3-й пересадочный контур – ТПК и Калининско-Солнцевская линия), рис. 4–17.

Рис. 7. Расчётная модель ПК 63+70

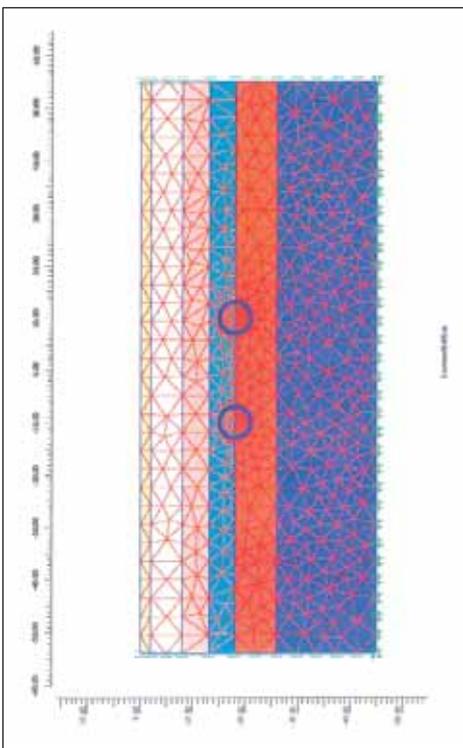


Рис. 8. Вертикальные перемещения ПК 63+70

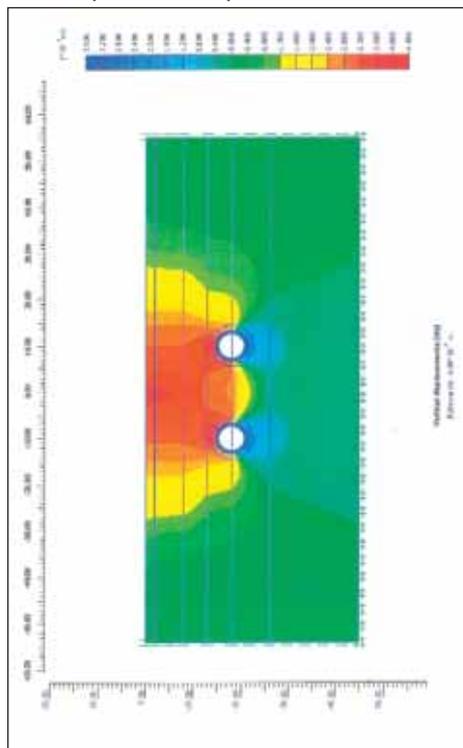
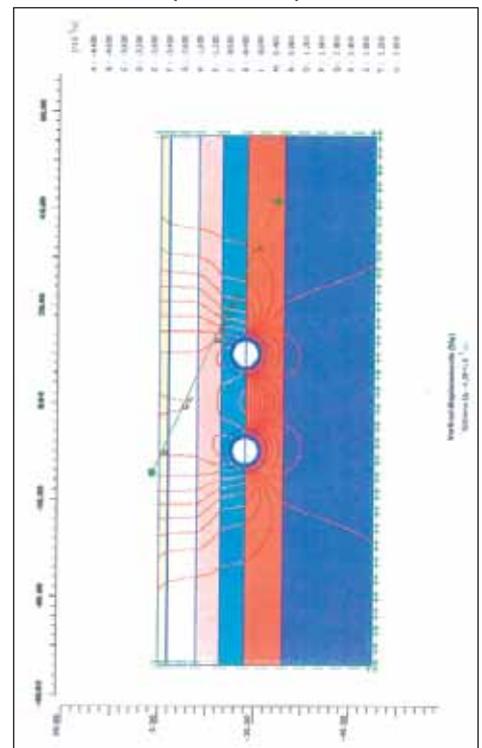


Рис. 9. Изолинии вертикальных перемещений ПК 63+70



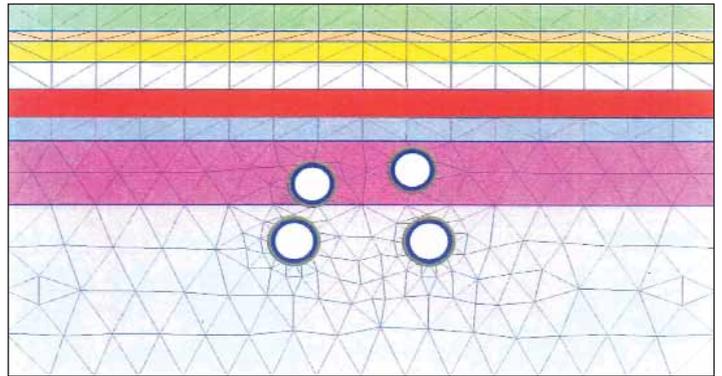
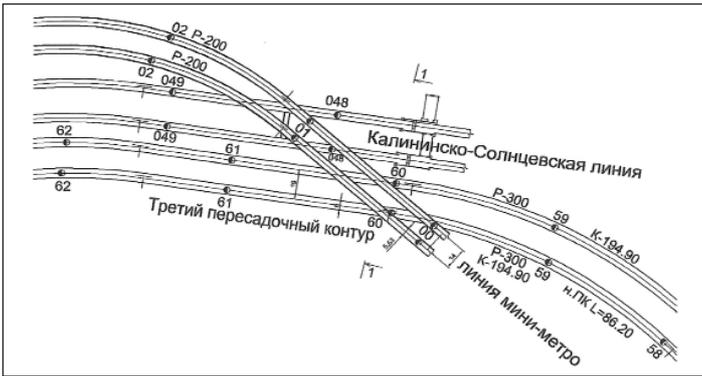


Рис. 10. Расчётное сечение I-I на пересечении трасс Третьего пересадочного контура и мини-метро

Рис. 11. Расчётная модель грунтового массива и конструкций тоннельной обделки (сечение I-I)

Приведены расчётные схемы и графические результаты расчётов мульд сдвижения (как в условных цветах, так и в виде линий деформаций (вертикальных смещений) породного массива: каждая линия смещений обозначена буквой латинского алфавита, которой соответствует конкретная величина смещения в мм).

**Корректировка методики прогнозирования**

Целесообразно использовать данные измерений деформаций для корректировки методики расчета, с тем, чтобы она совершенствовалась в процессе работы.

Измерительные реперные линии (поперечники) следует предусматривать на участках трассы, на которых прогноз показывает возможность опасных смещений или на которых могут быть нарушены расчетные предпосылки (слабоустойчивые грунты могут привести к вывалам в

забое, расположение напластований резко меняется по трассе, что делает неравномерным решение задачи плоской деформации и т. п.).

В измерительных поперечниках следует предусматривать контроль вертикальных и горизонтальных деформаций.

Обязательным следует считать проведение измерений после завершения этапа проходки (сооружение очередного перегонного или станционного тоннеля, бетонирование участка калотты и т. п.).

Фактические смещения могут отличаться от расчетных, прежде всего, из-за неточностей и ошибок в исходных данных.

В первую очередь следует провести расчеты с вариациями величины начального технологического зазора и оценить их влияние на величины смещений поверхности. Во вторую очередь – влияние вариаций прочностных характеристик, главным образом, сцепления, по своей

природе имеющего очень большие разбросы.

В последнюю очередь рассматривают влияние вариаций модуля деформаций, которое может быть особенно значимым для скальных трещиноватых грунтов.

**Мероприятия по защите зданий и сооружений в зоне строительства тоннелей**

Исходными данными для проектирования мер защиты зданий от воздействия горнопроходческих работ при строительстве тоннелей являются, в числе прочих, расчеты ожидаемых сдвижений (в первую очередь оседаний) и деформаций земной поверхности в мульде от горнопроходческих работ.

**Выбор и обоснование критериев для обеспечения безопасности зданий и сооружений в зоне проходки тоннелей**

Для защиты зданий и сооружений от воздействия горнопроходческих работ

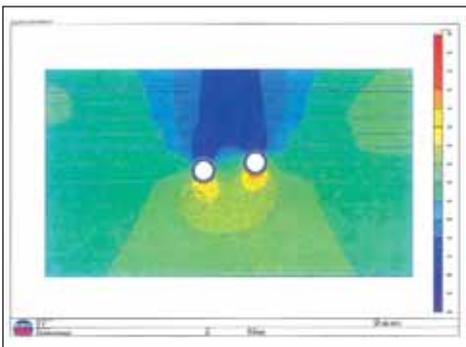


Рис. 12. Вертикальные деформации обделок и грунтового массива (расчёт 1)

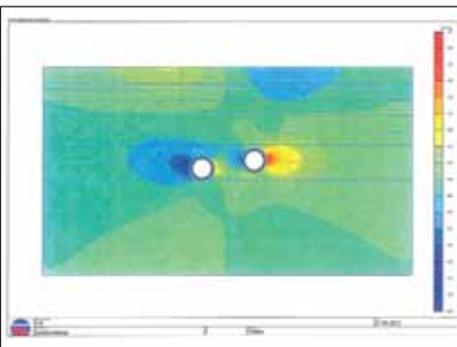


Рис. 13. Горизонтальные деформации обделок и грунтового массива (расчёт 1)

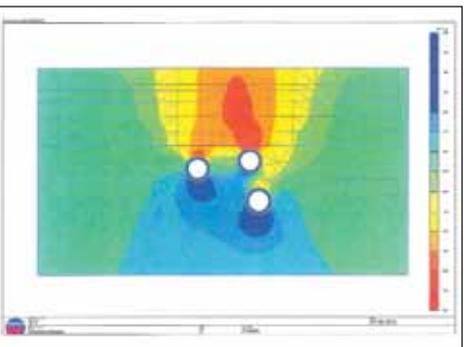


Рис. 14. Вертикальные деформации обделок и грунтового массива (расчёт 2)



Рис. 15. Горизонтальные деформации обделок и грунтового массива (расчёт 2)

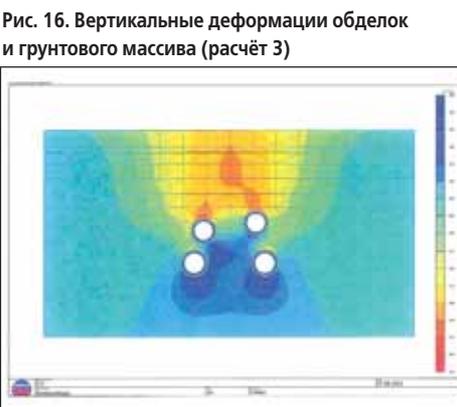


Рис. 16. Вертикальные деформации обделок и грунтового массива (расчёт 3)

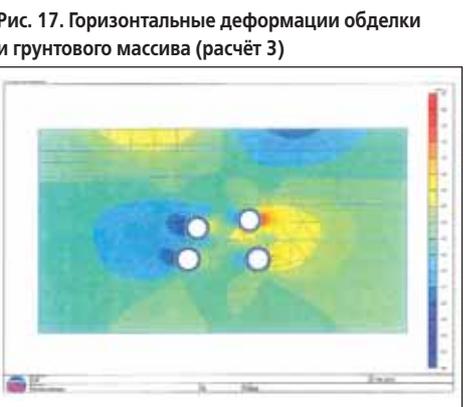


Рис. 17. Горизонтальные деформации обделки и грунтового массива (расчёт 3)

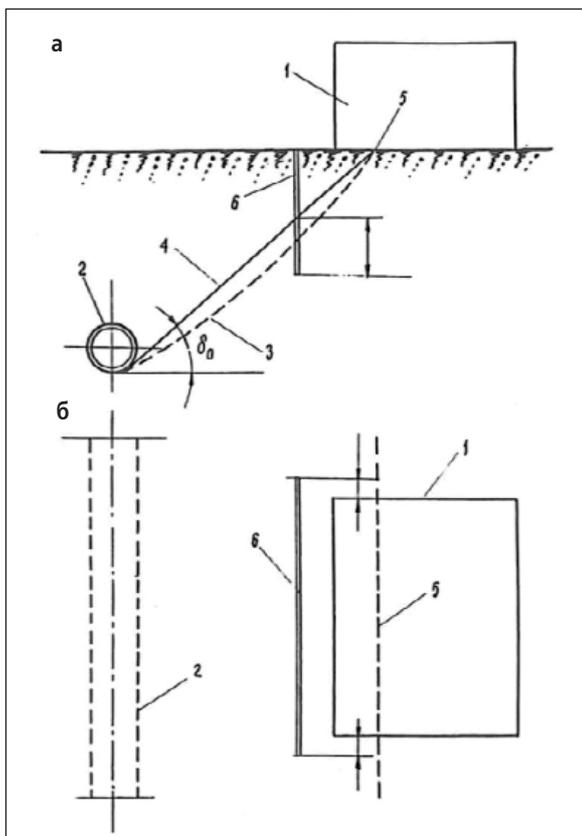


Рис. 18. Схема защиты здания с помощью ограждающей стенки: а – разрез; б – план; 1 – подрабатываемое здание, 2 – тоннель, 3 – граница зоны влияния горнопроходческих работ, 4 – условная граница зоны влияния, 5 – линия пересечения границы зоны влияния с земной поверхностью, 6 – ограждающая стенка

применяются конструктивные и горные меры защиты.

Вопрос о выборе того или иного вида мер защиты или их совместного сочетания зависит от конкретных условий: значимости и технического состояния подрабатываемого здания, его расположения в мульде оседаний, величин ожидаемых деформаций земной поверхности при принятой системе ведения горных работ, реальных возможностей осуществления тех или иных мер защиты и технико-экономических соображений.

Безопасными деформациями земной поверхности (оснований сооружений) для гражданских зданий, подвергающихся влиянию проходки выработок тоннелей метрополитенов, являются такие деформации, при которых не нарушаются требования норм и правил технической эксплуатации зданий.

Безопасными деформациями земной поверхности (оснований сооружений) для промышленных зданий являются такие деформации, при которых не нарушается непрерывность производственных процессов.

Допустимыми деформациями земной поверхности (оснований сооружений) для гражданских и промышленных зданий являются такие деформации, при которых для дальнейшей их эксплуатации достаточно проведения ремонтных и наладочных работ.

Предельными деформациями земной поверхности (оснований сооружений) для гражданских и промышленных зданий являются такие деформации, превышение которых может вызвать аварийное состояние сооружений.

Обычные жилые и общественные здания, попадающие на край мульды сдвига, граница которой определяется по оседанию  $\eta = 5$  мм, – в районе, где расчетные оседания земной поверхности не превышают 20 мм при принятом порядке ведения проходческих работ, могут подрабатываться без применения комплекса горных мер защиты.

Особо ответственные здания (детские учреждения, больницы, памятники архитектуры и пр.), попадающие в район мульды сдвига, где расчетные оседания  $\eta \geq 10$  мм, во всех случаях подлежат защите с помощью специальных мер.

#### Меры по минимизации деформаций (горные меры защиты)

Обычные жилые и общественные здания, попадающие на край мульды сдвига, граница которой определяется по оседанию  $\eta = 5$  мм, – в районе, где расчетные оседания земной поверхности не превышают 20 мм при принятом порядке ведения проходческих работ, могут подрабатываться без применения комплекса горных мер защиты.

Обычные жилые и общественные здания, попадающие на край мульды сдвига, граница которой определяется по оседанию  $\eta = 5$  мм, – в районе, где расчетные оседания земной поверхности не превышают 20 мм при принятом порядке ведения проходческих работ, могут подрабатываться без применения комплекса горных мер защиты.

Горные меры защиты делятся на два вида:

- меры, существенно уменьшающие величины оседаний и деформаций земной поверхности;

- меры, исключающие возможность возникновения при проходке тоннелей опасных оседаний (превышающих 10–20 мм).

Выбор тех или иных горных мер защиты зависит от конкретных условий, реальных возможностей осуществления и технико-экономического обоснования.

Для уменьшения оседания и деформации земной поверхности рекомендуется применение простых мер защиты, обеспечивающих снижение величин оседаний до 5 мм в сутки, таких как использование проходческих щитов с гидро- или грунтовым пригрузом.

В качестве горной меры защиты, исключающей возможность возникновения опасных оседаний при проходке тоннеля в несвязных грунтах, рекомендуется технология проходки с устройством защитного свода вокруг тоннеля путем инъектирования специальных составов.

Эффективность горных мер защиты должна проверяться на опытных участках за пределами подрабатываемых зданий, путем

сравнения величин оседаний и деформаций земной поверхности до и после осуществления горных мер защиты.

С этой целью должна предусматриваться закладка специальной наблюдательной станции, состоящей не менее чем из трех профильных линий, – одна по оси тоннеля и две по нормали к нему или под острым углом не менее  $45^\circ$  (если необходимость этого диктуется стесненными условиями).

#### Конструктивные меры защиты

Конструктивные меры защиты делятся на три вида:

- меры по отсечению основания зданий от мульды оседаний;

- меры, обеспечивающие восприятие воздействия ожидаемых деформаций основания на подрабатываемые здания;

- меры по выправлению деформированных подработкой зданий или выправления их в процессе подработки.

Выбор наиболее приемлемых конструктивных мер защиты производится в зависимости от конкретных условий.

Конструктивные меры по отсечению основания здания от мульды сдвига рекомендуется применять для зданий, находившихся на краю мульды.

Отсечение основания здания от мульды сдвига производится путем устройства ограждающей стенки, пересекающей условную границу зоны влияния горных работ при проходке тоннелей.

Размеры ограждающей стенки должны приниматься с достаточным запасом по длине (с каждого конца) и по высоте (рис. 18), но не ниже подошвы тоннеля.

Отсечение основания здания от мульды сдвига путем устройства надежной ограждающей стенки является эффективной универсальной мерой защиты подрабатываемых зданий как от вертикальных, так и от горизонтальных деформаций основания.

Ограждающие стенки могут устраиваться:

- в виде монолитной железобетонной «стены в грунте», осуществляемой небольшими захватками по длине (до 2–3 м) с надежным креплением стенок траншей;

- из стального шпунта, что предпочтительнее и надежнее с точки зрения сохранения устойчивости основания в период производства работ.

Ограждающие стенки являются эффективной мерой защиты зданий, расположенных вблизи станций метро, устраиваемых открытым способом. Для того чтобы эта мера была достаточно надежной, необходимо исключить возможность существенного ослабления грунтового массива при устройстве ограждающей стенки и обеспечить постоянное надежное анкерение ограждающей стенки по мере отрывки котлована.

В качестве конструктивных мер защиты зданий, обеспечивающих восприятие воздействия ожидаемых деформаций основания на подрабатываемые здания, рекомендуется:

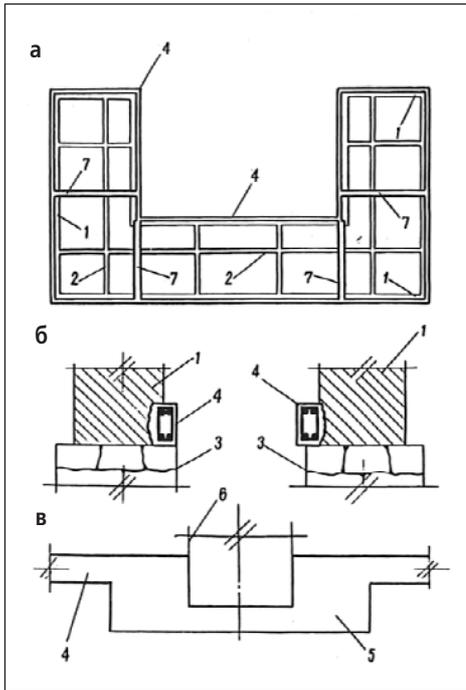


Рис. 19. Схема устройства железобетонного цокольного пояса: а – план, б – сечения пояса, в – усиление пояса в месте разрезки его дверным проемом; 1 – наружная стена, 2 – внутренняя стена, 3 – фундамент, 4 – цокольный пояс, 5 – местное усиление цокольного пояса, 6 – дверной проем, 7 – железобетонная связь-распорка

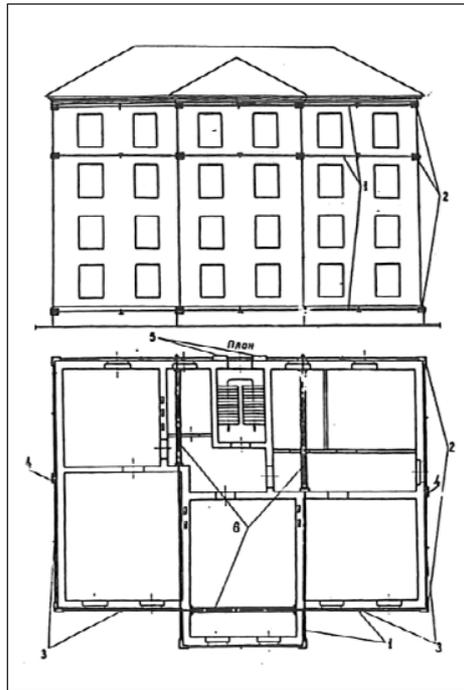


Рис. 20. Схема усиления стен здания с помощью одиночных стальных стяжей: а – по фасаду, б – в плане; 1 – стальной тязь, 2 – угловой обжимной элемент, 3 – промежуточный обжимной элемент, 4 – связь-распорка, 5 – переходная вставка в месте разрезки тязя дверным проемом

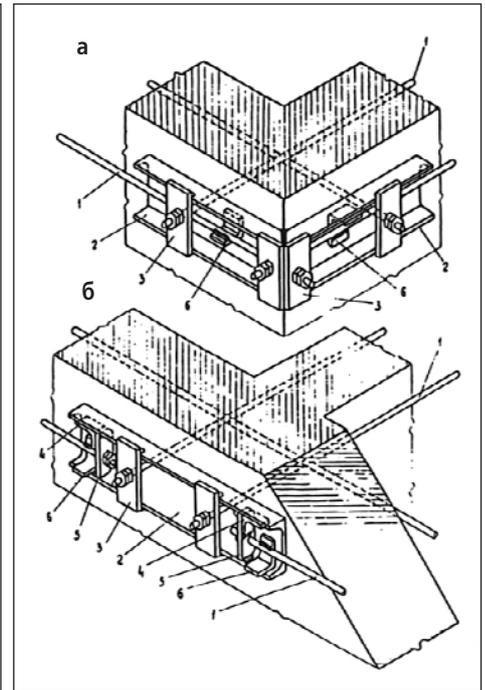


Рис. 21. Схема усиления стен здания с помощью парных стальных стяжей: а – на углу здания, б – на пересечении наружной стены с внутренней; 1 – тязь, 2 – обжимной элемент, 3 – опорная накладка, 4 – опорный угольник, 5 – опорная косынка, 6 – угольник для защиты тязя от скручивания, 7 – накладка для увеличения жесткости обжимного элемента

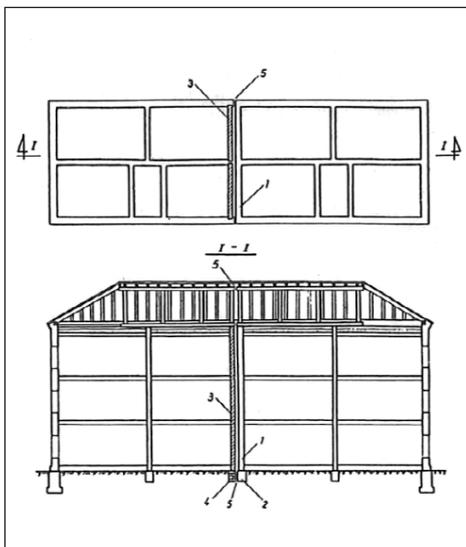


Рис. 22. Схема разрезки здания на отсеки: 1 – существующая стена, 2 – существующий фундамент, 3 – вновь возводимая стена, 4 – вновь возводимый фундамент, 5 – деформационный шов

- устройство замкнутых железобетонных поясов в уровне цоколя (рис. 19) для защиты от горизонтальных деформаций основания;

- усиление стен одиночными или парными стальными предварительно напряженными тязями, устанавливаемыми в уровне перекрытий (рис. 20 и 21) для защиты от вертикальных деформаций основания  $K(R)$ ;

- разрезка на сравнительно короткие отсеки;
- введение между фундаментами и стенами с большим свободным пролетом (более 10 м)

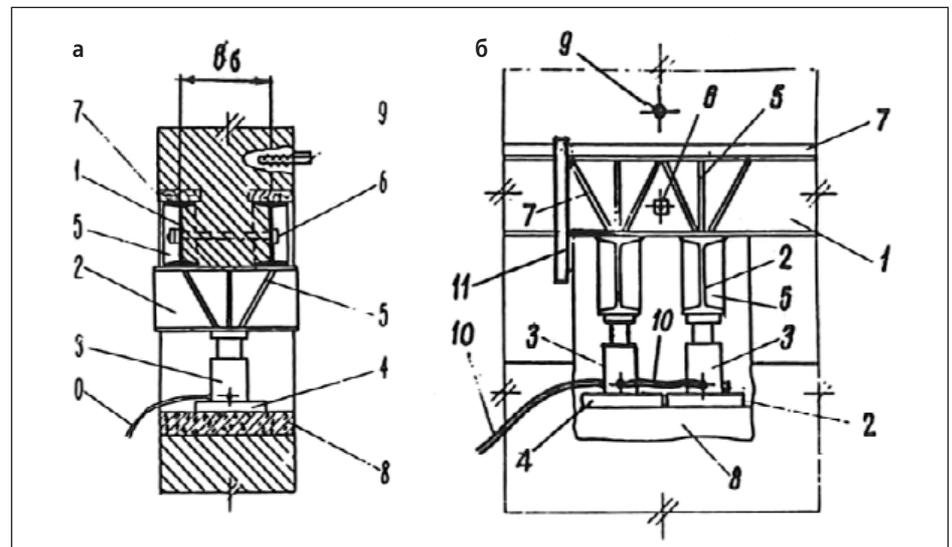


Рис. 23. Схема расположения оборудования в дократном проеме: 1 – обвязочная балка, 2 – распределительная балка, 3 – дократ, 4 – стальная распределительная плита, 5 – ребро жесткости, 6 – стяжной болт, 7 – доска, 8 – железобетонная подушка, 9 – репер, 10 – маслопровод, 11 – линейка, 12 – крюк для подвески линейки

- связей-распорок для защиты от горизонтальных деформаций основания и для повышения пространственной устойчивости здания (см. рис. 19 и 20).

### Заключение

В настоящее время при прокладке линий метрополитена закрытого способа работ в качестве наиболее достоверного метода прогнозирования осадок земной поверхности в зоне строительства применяется расчет мульд сдвига с использованием про-

граммных геотехнических комплексов «PLAXIS», «Z-SOIL» и др.

Результаты расчетов по этим комплексам наглядны, подробны и легко используются проектировщиками для разработки мер защиты зданий и сооружений, находящихся в зоне строительства тоннелей.

Использование в проектах способов защиты зданий, находящихся в зоне подработки, описанных в данной работе, гарантирует обеспечение эксплуатационной безопасности этих зданий.

(495) 226-18-37  
(342) 219-61-56  
info@anker-system.ru



АНКЕРНЫЕ  
СИСТЕМЫ

# ВИНТОВЫЕ анкеры АТЛАНТ



Применение:

- крепление ограждений котлованов;
- крепление подпорных стен, оползневых склонов;
- устройство и усиление фундаментов анкерными сваями.



[www.anker-system.ru](http://www.anker-system.ru)

реклама

Физико-механические свойства винтовых анкерных штанг Атлант проверены и подтверждены протоколом испытаний ИЦ "МЕТАЛТЕСТ" ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина" (г. Москва)