

УДК 624.121

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ И ИХ МАССИВОВ (ОБЗОР ПО МАТЕРИАЛАМ XII КОНГРЕССА МАИГ-2014)

© 2015 г. Ю. В. Фролова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, Ленинские горы, д. 1, Москва, 119992 Россия. E-mail: ju_frolova@mail.ru

Поступила в редакцию 1.12.2014 г.

В статье рассматриваются основные тенденции в области изучения скальных грунтов и слагаемых ими массивов, представленные на XII Международном конгрессе IAEG “Инженерная геология для общества и территорий”, проходившем в г. Турине (Италия) в сентябре 2014 г. Среди приоритетных направлений исследований – природа физико-механических свойств и механизм разрушения скальных грунтов, механические свойства трещин и оценка свойств скальных массивов.

Ключевые слова: скальные грунты, массивы, физико-механические свойства, разрушение.

ВВЕДЕНИЕ

В сентябре 2014 г. в г. Турине (Италия) прошел XII Международный конгресс МАИГ “Инженерная геология для общества и территорий”, в котором приняли участие более 1000 инженер-геологов из разных стран. На 132 научных секциях обсуждались самые различные аспекты инженерной геологии; по итогам конгресса опубликован сборник материалов в 8 томах.

В настоящей статье рассматриваются основные тенденции в области изучения скальных грунтов и слагаемых ими массивов, которые были представлены на конгрессе. Прежде всего, следует отметить, что существует Международное общество по механике горных пород (International Society for Rock Mechanic – ISRM), научная деятельность которого направлена на изучение скальных грунтов. В отличие от него в область научных интересов МАИГ входит очень широкий круг вопросов и объектов инженерной геологии, и на конгрессе в Турине не было какой-либо отдельной секции, посвященной скальным грунтам. Тем не менее скальные грунты рассматривались во многих работах, в первую очередь, в посвященных инженерно-геологическим исследованиям при проектировании и строительстве ответственных сооружений – тоннелей, подземных хранилищ РАО, гидротехнических сооружений, авто- и железных дорог в горных районах и пр. В основном эти работы опубликованы в 6 томе материалов конгресса.

Проанализировав материалы конгресса, в области изучения скальных грунтов можно выделить четыре приоритетных направления:

1. Природа физико-механических свойств скальных грунтов;
2. Механизм разрушения скальных грунтов;
3. Механические свойства трещин;
4. Оценка свойств скальных массивов.

Ниже приводится краткий обзор работ по этим направлениям.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ

В работах, посвященных изучению физико-механических свойств скальных грунтов, рассматриваются достаточно традиционные вопросы грунтоведения – зависимость свойств от структурно-минералогических особенностей [19, 23], изменчивость свойств скальных грунтов по разрезу коры выветривания с оценкой влияния степени выветрелости на свойства [4], физические и механические свойства вмещающих пород гидротермальных систем [7, 8, 21], корреляционные взаимосвязи между показателями физико-механических свойств [16, 37], реологические свойства [27].

В частности, в работах V. Marinis с соавторами [16] и L. Wilfing с соавторами [37], посвящен-

ных инженерно-геологическим исследованиям при проектировании тоннелей, рассматривается корреляционная зависимость прочности на одноосное сжатие и прочности на разрыв, определяемой “бразильским” методом и методом сферических инденторов (Point Load Test) для различных горных пород. Прежде всего, эти зависимости имеют практическое значение, так как метод определения прочности при одноосном сжатии (σ_c) более дорогостоящий и трудоемкий (требуется транспортировка керна в лабораторию, подготовка образцов со строго параллельными торцевыми поверхностями), по сравнению с определением прочности на разрыв (σ_t), которое может проводиться в полевых условиях на образцах произвольной формы или на образцах керна с необработанными торцами. Кроме того, соотношение σ_c/σ_t характеризует хрупкость (жесткость) породы и позволяет прогнозировать характер ее поведения под нагрузкой или при проходке тоннеля и тип разрушения.

Интересными представляются работы китайских ученых из Технологического университета Ченду [15, 27], посвященные детальному изучению свойств филлитов как вмещающей среды подземных сооружений. В статье [27] рассматривается ползучесть филлитов при сдвиге, и дается оценка влияния водонасыщения на длительную прочность пород в связи с проектированием подземных гидротехнических сооружений GaoPigru ГЭС. Изучению анизотропии прочностных и деформационных свойств филлитов и характера их разрушения в зависимости от ориентировки сланцеватости посвящена работа Lubo M., Tianbin L. [15]. На основе лабораторных экспериментов авторы предполагают три модели разрушения вмещающего тоннель массива.

МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Одно из ведущих направлений в области геомеханики – изучение процесса разрушения горных пород под нагрузкой и инициализации микротрещин. Для исследования механизма разрушения горных пород при одноосном нагружении и визуализации развития микротрещин в настоящее время применяются методы акустической эмиссии (АЭ), компьютерной томографии (КТ), электронной микроскопии (СЭМ, СЭМ с климокамерой). Результаты подобных исследований отражены в работах [36, 38, 39].

Среди исследований по данной тематике, в первую очередь, следует отметить работу проф.

Луиса Вонга (Louis N.Y. Wong) из Технического университета г. Наньян (Сингапур), за которую на конгрессе он получил приз Ричарда Волтерса для молодых ученых [38, 39]. Его работа посвящена исследованию процесса разрушения образцов горных пород – каррарского мрамора и гипса, при одноосном сжатии. В образцах предварительно были созданы дефекты (микротрещины). Процесс деформирования и разрушения записывался скоростной видеокамерой; кроме того, формирование микротрещин, их геометрия, распределение по объему образца, морфология, детально исследовались на электронном микроскопе, оснащенный климокамерой (ESEM). Установлено, что характер деформирования и формирования микротрещин в мраморе и гипсе существенно различаются. При нагружении мрамора еще до образования видимых трещин в образцах возникали “белые участки”, затем они разрастались, и только после этого проявлялись макроскопические трещины отрыва или сдвига. Исследования в электронном микроскопе показали, что “белые участки” представляют собой сеть тончайших микротрещин – внутри- и межкристаллических (размером менее 1–2 зерен), и сколов на стыках кристаллов. Эволюция “белых участков” и лежащей в их основе микротрещиноватости исследовалась путем сравнения СЭМ-изображений образцов, испытывавших различную нагрузку (50, 70 и 90% от разрушающего усилия). На основе СЭМ-изображений построены карты плотности микротрещин в объеме образца при разных нагрузках. Показано, что с увеличением нагрузки на образец растет плотность микротрещин, увеличивается их длина, трещины сливаются, увеличивается объем зоны микротрещиноватости. Описание инициализации микротрещин и их распределение по образцу сопровождается множеством снимков и детальных схем. Поведение под нагрузкой образца гипса отлично от мрамора. В гипсе сразу возникают видимые невооруженным глазом (или с линзой $\times 10$) микротрещины – сначала волосные, а затем переходящие в макроскопические трещины отрыва. Причину различий в развитии микротрещин и в разрушении образцов мрамора и гипса авторы видят в структурно-текстурных особенностях этих пород: мрамор сложен плотно сросшимися изометричными кристаллами кальцита, тогда как гипс состоит из кристаллов уплощенной формы, образующих менее плотную упаковку с многочисленными порами между зернами.

Еще одно направление в области изучения разрушения скальных грунтов – использование метода акустической эмиссии (АЭ). Результаты подобного исследования были представлены в работе

немецких исследователей из Технического университета Мюнхена [36]. Проводилось одноосное нагружение диоритов с одновременным измерением деформаций и регистрацией акустоэмиссионного сигнала. В результате испытаний получены деформационные кривые и одновременные с ними акустоэмиссионные графики, на которых четко выделяются стадии деформирования и разрушения образца: 1 – закрытие пор и трещин, 2 – упругое деформирование скелета, 3 – устойчивое формирование микротрещин, 4 – неустойчивое (спонтанное) трещинообразование. Судя по интенсивному росту числа акустоэмиссионных событий, лавинообразное формирование трещин начинается при величине нагрузки, составляющей около 70% от разрушающего усилия. На основе АЭ получена объемная картина плоскостей, сформированных при разрушении образца и делящих его на верхний и нижний конусы.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТРЕЩИН

Трещиноватость – важнейший фактор, определяющий прочностные и деформационные свойства скального массива, поэтому для оценки поведения массива при взаимодействии с инженерным сооружением крайне необходимы знания не только о геометрии, заполнителе, ориентировке трещин, но и об их механических свойствах.

В работе французских ученых Т. Le Cog с соавторами из Европейского университета Бретани [14] рассматриваются методика проведения и результаты сдвиговых испытаний по трещине (сланцеватости) выветрелых зеленых сланцев. Работы проводились в связи с инженерно-геологическими изысканиями под строительство метрополитена в г. Ренн. Для проведения испытаний адаптирован обычный сдвиговой прибор, используемый для дисперсных грунтов. Образец сланца разделялся по трещине на две половины, каждая из которых закреплялась в обойме прибора с помощью цементирующей массы. В ходе испытаний определялось предельное касательное напряжение в плоскости трещины при разных величинах нормальной нагрузки, затем строилась диаграмма сдвига в координатах нормальные – касательные напряжения и рассчитывались сцепление и угол внутреннего трения, характеризующие трещину. Испытания проводились для сухой трещины и с увлажненной поверхностью, в результате которых произведена количественная оценка влияния увлажнения на снижение механических свойств трещины.

ОЦЕНКА СВОЙСТВ СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ

Большое количество работ было посвящено оценке свойств скального массива, необходимых для последующего моделирования и расчета его устойчивости при взаимодействии с инженерным сооружением. Для оценки свойств скального массива в настоящее время широко применяются эмпирические классификации. Они позволяют выделить категории (классы, группы качества) массива по устойчивости и сопоставить выделенные категории с физико-механическими свойствами. Всего в эмпирических классификациях используются до 20 геологических параметров: с одной стороны, это характеристики ненарушенной горной породы, с другой – характеристики массива (трещиноватость, обводненность). Параметры должны, во-первых, легко определяться при геологических наблюдениях, во-вторых – существенно влиять на свойства. В существующих классификациях наиболее часто применяются прочность на одноосное сжатие или растяжение (характеризуют свойства ненарушенной породы) и различные показатели трещиноватости: интенсивность трещиноватости, раскрытие, шероховатость, морфологические особенности и заполнитель трещин, RQD, длина трещин, объем блоков, обводненность и др.

В работах, представленных на конгрессе, для оценки свойств скальных массивов использовались следующие классификации:

1. Геологический индекс прочности (Geological Strength Index – GSI) совместно с критерием прочности Хоека–Брауна [6, 10, 11];
2. Классификация З.Т. Беньявски (Bieniawski, 1973, 1989) – рейтинг массива (Rock Mass Rating – RMR) [5];
3. Классификация Н.Р. Бартона (Barton, 1974) – качество массива (Q-value) [3];
4. Классификация А. Палмстрема (Palmstrom, 1995) – индекс массива (Rock Mass Index-RMi) [24].

Проанализировав работы, представленные в материалах XII Международного конгресса IAEG, можно констатировать, что большая часть исследователей для оценки свойств массива пользуется классификацией Хоека–Брауна и геологическим индексом прочности, в меньшей степени авторы используют классификацию З.Т. Беньявски (таблица). В некоторых работах сравниваются классы массивов и свойства, полученные разными методами.

Использование классификаций массивов в различных инженерно-геологических проектах

| Классификация | Объект | Породы | Литературный источник |
|--|--|---|-----------------------|
| GSI + критерий прочности Хоека–Брауна [10] | Тоннель Пейфа, массив Хортиатис (Греция), 1450 м | Сложно простроенный дислоцированный массив (травертины, метаргиллиты, углистые, глинистые и зеленые сланцы, известняки, габбро, перидотиты) | [16] |
| | Ж/д тоннель Бреннер (Альпы), 55 км | Метаморфические породы – филлиты, гнейсы | [25] |
| | Тоннель Дрискос (СЗ Греция), 1460 м | Флишевая толща | [13] |
| | Автомагистраль – СВ Сардиния (Италия) | Сложно дислоцированный массив – осадочные, метаморфические, вулканогенные породы | [31] |
| | Бело Монте ГЭС (Северная Бразилия) | Кристаллический фундамент, осадочный чехол | [26] |
| | Плотина Мандава (Ирак) | Молассовая формация | [19] |
| | Метрополитен, Афины (Греция) | Неоднородный массив слабометаморфизованных осадочных пород | [33] |
| | Ж/д в Британской Колумбии (Канада) | Аргиллиты, алевролиты, песчаники, конгломераты | [34] |
| | Модель “слабого” скального массива – методологическая работа | Дислоцированный, выветрелый массив, сложенный породами с низкой прочностью | [17] |
| | RMR [5] | Два тоннеля, массив Баборс (Алжир), 1497 м | Известняки |
| Тоннель Марао (СВ Португалия), 5600 м | | Сложно построенный массив: метааргиллиты, алевролиты, конгломераты, туфы, кварциты, филлиты, гранитоиды | [22] |
| Q-value [3] | Тоннели (СВ Португалия) | Гранитный массив | [29] |
| | Подземный машинный зал, Дагачху ГЭС, Гималаи (Бутан) | Метаморфические породы – сланцы, кварциты, гнейсы | [32] |
| RMR, GSI | Ж/д София-Мездра (Болгария) | Сложный комплекс осадочных, метаморфических и вулканогенных пород | [35] |
| | Устойчивость склонов, Иберийский массив (СЗ Португалия) | Филлиты, метапесчаники, метааргиллиты | [1] |
| RMR, Q | Тарован-Vishnugad ГЭС, Гималаи (Индия) | Метаморфические породы средней и высокой ступеней | [20] |
| RMR, GSI, Q | Подземное хранилища РАО (юг Венгрии) | Гранитный массив | [12] |
| GSI, Rmi | Методология | Игнимбриты (Турция) Песчаники (Н. Зеландия) | [30] |

Геологический индекс прочности (GSI) представляет собой двухпараметровую классификацию, учитывающую блочность массива и характер поверхности трещин; измеряется в баллах от 0 до 100. В свою очередь, GSI входит в эмпири-

ческую формулу Хоека–Брауна для оценки прочности и деформируемости скального массива. Хотя на первый взгляд GSI – достаточно простой параметр, в геомеханике предлагаются различные способы его оценки. В частности, в работе [30]

сравниваются значения GSI, вычисляемые тремя разными способами, предложенными в работах Е. Хоека [10, 11], Г. Руссо [28], М. Кая и П. Кайзера [6], и делается вывод о существенном различии получаемых величин GSI.

Канадские ученые при проектировании тоннеля Дрискос (Греция) в неоднородном, сложнислоцированном массиве флишоидных пород для расчетов устойчивости использовали специальную классификацию GSI, предложенную Е. Хоеком и П. Мариносом для флиша [13, 18].

На основе “базовой” классификации GSI для оценки свойств и поведения “слабых” массивов при тоннеле- и гидротехническом строительстве В. Маринос (V. Marinos) предложил новую классификацию в виде диаграммы (Tunnel behaviour chart – TBC), учитывающую, помимо GSI, прочность на одноосное сжатие породы и напряженное состояние массива [17]. В этой работе также обсуждается термин “слабый массив” и критерии его выделения.

Особо следует отметить новую классификацию массивов, предложенную японскими (O. Aydan and N. Tokashiki) и турецким (R. Ulusay) инженер-геологами на основе рейтинга качества массива (Rock Mass Quality Rating – RMQR) [2]. В основу классификации положены 6 параметров: степень измененности породы (выветрелости, гидротермальной переработки), количество систем трещин, расстояние между трещинами или RQD, характеристика трещин (с дополнительной классификацией), степень обводненности и водопоглощение. Каждому показателю присваиваются баллы, а затем путем их суммирования получается рейтинг качества массива (RMQR), изменяющийся в интервале от 0 до 100 баллов. Авторы предлагают эмпирическое уравнение для расчета физико-механических свойств массива, в которое входят показатель RMQR, значение соответствующего свойства для ненарушенной породы и эмпирический коэффициент. Сравнение показателя RMQR с рассчитанными для того же массива показателями RMR и Q-value обнаруживает хорошую корреляцию. Однако значения RMQR как правило ниже, чем RMR (оба показателя измеряются в баллах от 0 до 100). По мнению авторов, это может быть обусловлено различием входящих параметров, в частности тем фактом, что в показателе RMQR входит величина водопоглощения, а прочность на одноосное сжатие отсутствует. В работе также предлагаются эмпирические уравнения для взаимосвязи RMQR с RMR и Q-value.

Таким образом, можно заключить, что методические вопросы применения эмпирических классификаций далеки от разрешения, и в настоящее время продолжается поиск оптимальных параметров, составляющих основу классификаций и эмпирических уравнений для оценки свойств массива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог рассмотрению материалов, представленных на конгрессе, можно отметить следующие тенденции в области изучения скальных грунтов:

1. Широкий диапазон исследований – от микроуровня (СЭМ, томография, АЭ) до массива.
2. Четыре приоритетных направления исследований: а) природа физико-механических свойств скальных грунтов; б) механизм разрушения скальных грунтов; в) механические свойства трещин; г) оценка свойств скальных массивов.
3. Проблема классификаций скальных массивов и оценки их свойств – одна из основных, включая поиск и обоснование оптимальных входящих параметров и эмпирических уравнений для расчета свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Afonso M.J., Silva R.S., Moreira P., Teixeira J., Almeida H., Trigo J.F., and Chaminé H.I. Geomechanical Assessment on a Metasedimentary Rock Cut Slope (Trofa, NW Portugal). *Geotechnical Stability Analysis // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014)*. V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds). Springer Intern. Publ., 2015. P. 819–824.
2. Aydan Ö., Ulusay R., and Tokashiki N. Rock Mass Quality Rating (RMQR) System and Its Application to the Estimation of Geomechanical Characteristics of Rock Masses // *Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014)*. V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds). Springer Intern. Publ., 2015. P. 769–772.
3. Barton N.R., Lien R., and Lunde J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support // *Rock Mech.* 1974. V. 6. № 4. P. 189–239.
4. Basu A. Applicability of Weathering Classification to Quartzitic Materials and Relation Between

- Mechanical Properties and Assigned Weathering Grades: A Comparison with Investigations on Granitic Materials // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 865–868.
5. *Bieniawski Z.T.* Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. Interscience, Wiley, New York, 1989. 272 p.
 6. *Cai M., Kaiser P.K., Uno H., Tasaka Y., Minami M.* Estimation of rock mass deformation modulus and strength of jointed hard rock masses using the GSI system // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. 2004. V. 41. P. 3–19.
 7. *Carlino S., Somma R., Troiano A., Di Giuseppe M.G., Troise C. and De Natale G.* Geothermal Investigations of Active Volcanoes: The Example of Ischia Island and Campi Flegrei Caldera (Southern Italy) // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 1. Climate Change and Engineering Geology/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 369–372.
 8. *Frolova J., Ladygin V. and Zukhubaya D.* Physical and Mechanical Properties of Rocks in the Hydrothermal Systems of the Kuril-Kamchatka Island Arc // Proceedings of XII Congress IAEG Engineering Geology for Society and Territory. V. 1. Climate Change and Engineering Geology. 2014. P. 337–340.
 9. *Hallal N., Bougdal R.* Geological Characterization and Stability Conditions of the Motorway Tunnels of Arrangement Project of the NR43, Melbou (W. Béjaïa) // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 237–242.
 10. *Hoek E., Brown E.T.* Practical estimates of rock mass strength // Int. Rock Mech Mining Sci Geomech Abstr. 1997. V. 34. P. 1165–1186.
 11. *Hoek E.* Reliability of the Hoek–Brown estimates of rock mass properties and their impact on design // Int. J. Rock Mech Min Sci, 35. 1998. P. 63–68.
 12. *Kamera R., Vásárhelyi B., Kovács L., and Tóth T.M.* Relationship Between the Fractal Dimension and the Rock Mass Classification Parameters in the Bataapáti Radioactive Waste Repository // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 897–900.
 13. *Langford J.C., Vlachopoulos N., Diederichs M.S., and Hutchinson D.J.* Application of Reliability Methods to Tunnel Lining Design in Weak Heterogeneous Rockmasses // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 41–45.
 14. *Le Cor T., Rangeard D., Merrien-Soukatchoff V., and Simon J.* Mechanical Characterization of Weathered Schists // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 809–813.
 15. *Lubo M., Tianbin L.* Experimental Study of Anisotropically Mechanical Features of Phyllite and Its Engineering Effect // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 831–834.
 16. *Marinos V., Prountzopoulos G., Fortsakis P., Chrysochoidis F., Seferoglou K., Perleros V., and Sarigiannis D.* Assessing Rock Mass Properties for Tunnelling in a Challenging Environment. The Case of Pefka Tunnel in Northern Greece // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 409–414.
 17. *Marinos V., Fortsakis P., and Stoumpos G.* Classification of Weak Rock Masses in Dam Foundation and Tunnel Excavation // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 859–863.
 18. *Marinos P., Hoek E.* Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch // Bull. Eng. Geol. Environ. 2001. V. 60. № 2. P. 85–92.
 19. *Morelli G.L. and Baldovin E.* Geomechanical Characterization of a Weak Sedimentary Rock Mass in a Large Embankment Dam Design // Engineering

- Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 825–830.
20. *Nawani P.C.* Groundwater Ingress in Head Race Tunnel of Tapovan: Vishnugad Hydroelectric Project in Higher Himalaya, India // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 941–946.
 21. *Nehler M., Mielke Ph., Bignall G., and Sass I.* New Methods of Determining Rock Properties for Geothermal Reservoir Characterization // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 37–40.
 22. *Olivença P. and Santos V.* Geological and Geotechnical Difference on Both Sides of the Same Tunnel // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 47–52.
 23. *Ömer Ü., Florian A.* Influence of Micro-texture on the Geo-engineering Properties of Low Porosity Volcanic Rocks // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 69–72.
 24. *Palmstrom A.* RMi – a rock mass characterization system for rock engineering purposes. Ph.D. thesis, 1995. University of Oslo.
 25. *Patzelt J., Thuro K.* Analysis of Stress Conditions at Deep Seated Tunnels—A Case Study at Brenner Base Tunnel // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 459–464.
 26. *Pereira J.H., Borchardt N.* UHE Belo Monte: Geological and Geomechanical Model of Intake Foundation of Belo Monte Site // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 627–632.
 27. *Ren G.M., Ma X., Ren B.W., and Xia M.* The Research of Shear Creep Behaviors of Saturated Sericite-Quartz Phyllite // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 875–880.
 28. *Russo G.* A new rational method for calculating the GSI // Tunn Undergr Space Technol., 2009. V. 24. P. 103–111.
 29. *Santos V., da Silva P., and Brito M.G.* Prediction of RMR Ahead Excavation Front in D&B Tunnelling // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 415–420.
 30. *Sari M.* Incorporating Variability and/or Uncertainty of Rock Mass Properties into GSI and RMi Systems Using Monte Carlo Method // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 843–850.
 31. *Scarano S., Laureti R. and Serangeli S.* Geological Design for Complex Geological- Structural Contest: The Example of SS 125 “Nuova Orientale Sarda” // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 611–616.
 32. *Steinacher R., Kuenga G.* Construction of the Underground Powerhouse at Dagachhu Hydropower Project, Bhutan // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 557–562.
 33. *Stoumpos G., Boronkay K.* Elaboration and Interpretation of Ground Investigation Data for the Heterogeneous ‘Athens Schist’ Formation; from the ‘Lithological Type’ to the ‘Engineering Geological Formation’ // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for

- Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 839–842.
34. *Sturzenegger M., Keegan T., Wen A., Willms D., Stead D., and Edwards T.* LiDAR and Discrete Fracture Network Modeling for Rockslide Characterization and Analysis // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 223–228.
35. *Varbanov R., Krastanov M., and Nankin R.* Influence of Fracture Systems and Weathering on the Sustainability of Rock Excavation Made for the Purpose of Infrastructure Construction // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 263–268.
36. *Wieser C., Käsling H., Raith M., Richter R., Moser D., Gemander F., Grosse C., Thuro K.* Acoustic Emission Technique to Detect Micro Cracking During Uniaxial Compression of Brittle Rocks // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 465–468.
37. *Wilfing L., Käsling H., Thuro K.* Towards a Uniform Definition of Rock Toughness for Penetration Prediction in TBM Tunneling // Engineering Geology for Society and Territory: Proc. of the XII International IAEG Congress (Torino, 2014). V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects/G. Lollino, D. Giordan, K. Thuro, C. Carranza-Torres, F. Wu, P. Marinos, C. Delgado (Eds.). Springer Intern. Publ., 2015. P. 469–474.
38. *Wong L.N.Y., Einstein H.H.* Crack coalescence in molded gypsum and Carrara marble: part 1 – macroscopic observations and interpretation // Rock Mechanics and Rock Engineering, 2009. V. 42. № 3. P. 475–511.
39. *Wong L.N.Y., Einstein H.H.* Crack coalescence in molded gypsum and Carrara marble: part 2 – microscopic observations and interpretation // Rock Mechanics and Rock Engineering, 2009. V. 42. P. 513–545.

CURRENT APPROACHES TO THE STUDY OF ROCK MECHANICS AND ROCK MASSIFS (OVERVIEW OF XII IAEG CONGRESS PROCEEDINGS)

Yu. V. Frolova

*Geological Faculty, Lomonosov Moscow State University,
Leninskie gory, bld. 1, Moscow, 119992 Russia. E-mail: ju_frolova@mail.ru*

The paper considers the main approaches to the study of rocks and rock massifs that were discussed at the XII IAEG Congress “Engineering Geology for Society and Territory” (Torino, Italy, September 15–19, 2014). The priority investigations comprise physical and mechanical properties and the mechanism of rock failure, mechanical tests by joints, and rock massifs characterizations.

Keywords: *hard rocks, rock massifs, physico-mechanical properties, failure.*