



DOI: 10.17073/2500-0632-2018-4-41-50

Аверин Е.А. (ООО «Скуратовский опытно-экспериментальный завод», Тула, Россия)

Зарубежный опыт использования клиновидных дисковых шарошек при оснащении тоннелепроходческих щитов

В зарубежной практике проектирования и эксплуатации горнопроходческих машин для проведения тоннелей в настоящее время принято оснащать тоннелепроходческие щитовые комплексы дисковыми шарошками типа CCS большого диаметра. Вместе с тем существует еще один тип дискового инструмента для разрушения горных пород – клиновидные лобовые шарошки, которые, как показывает практика, в некоторых ситуациях могут обеспечивать большую эффективность работ, чем стандартный инструмент. Отечественные исследования в данном направлении сводятся в основном к изучению клиновидных дисковых шарошек относительно небольшого диаметра для оснащения ими стреловидных проходческих комбайнов. Однако данный опыт не может быть применен в случае необходимости к эксплуатации щитовых тоннелепроходческих комплексов, поэтому изучение зарубежного опыта по данному вопросу является целесообразным. В представленной работе приводится анализ комплексных исследований, проведенных зарубежными специалистами в процессе строительства тоннелей различного назначения в Турции в первом десятилетии нынешнего века. Данные исследования включают определение широкого спектра физико-технических свойств горных пород, проведение лабораторных и натурных (полевых) испытаний по определению силовых характеристик процесса разрушения горных пород, сопоставление лабораторных, натурных и теоретических расчетных значений силовых и энергетических показателей работы щитовых тоннелепроходческих комплексов. В результате проведенных испытаний было установлено, что эффективность разрушения горных пород определяется не только их прочностью, но и структурными и текстурными особенностями. Различия наблюдались и при сравнении данных лабораторных экспериментов с натурными данными, и при сравнении лабораторных и натурных значений усилий на шарошках в процессе разрушения горных пород с теоретическими расчетными значениями. Кроме того, к перспективным направлениям применения клиновидных лобовых дисковых шарошек следует отнести разрушение вязких неабразивных пород с небольшим количеством минеральных включений или, с некоторыми оговорками, разрушение весьма крепких и абразивных горных пород. Не все выводы, сделанные на основании проведенного анализа, совпадают с мнениями авторов исходных исследований, поэтому для более полного понимания темы рекомендуется ознакомиться с литературой (особенно зарубежной) из списка цитированных источников.

Ключевые слова: дисковая шарошка, механическое разрушение, тоннель, тоннелепроходческий комплекс, зарубежный опыт, выявление перспектив, усилие резания, область применения

Введение

Так как в качестве стандартного оснащения тоннелепроходческих машин клиновидные дисковые шарошки сейчас вытеснены дисковыми шарошками постоянного поперечного сечения (англ. CCS – Constant Cross Section), исследования, касающиеся перспектив использования рассматриваемого инструмента, направлены на выявление эффективности их применения в нестандартных горно-геологических условиях. Стоит отметить, что в практике отечественного горного

машиностроения клиновидные дисковые шарошки применяются на исполнительных органах стреловидных проходческих комбайнов [1–5]. Однако эти инструменты имеют размеры в несколько раз меньше, чем инструменты, применяемые на щитовых тоннелепроходческих комплексах, составляющие обычно 432, 483 или 508 мм (17, 19 или 20 дюймов) в диаметре [6–9]. Отечественный опыт изготовления и применения лобовых дисковых шарошек не способен достоверно отражать процессы разрушения горных пород ша-

рошками большого диаметра [10], поэтому изучение зарубежного опыта по данному вопросу целесообразно.

При строительстве многокилометровых тоннелей нередки случаи кардинальных различий свойств вмещающих пород и условий ведения горных работ, вследствие чего все чаще приходится прибегать к практике применения различных породоразрушающих инструментов на одном проекте [11]. Примером такого проекта является строительство канализационного тоннеля Бейкоз–Стамбул [12]. В целом клиновидные дисковые шарошки оказались наиболее эффективным инструментом на этом проекте [13–15]. Дело в том, что напорного усилия на участках с очень крепкими и абразивными породами было недостаточно для разрушения дисковыми шарошками постоянного поперечного сечения. И хотя расход инструмента на таких участках был выше запланированных значений, эффективность разрушения была достаточной для обеспечения необходимых показателей производительности.

Описание проведенных исследований

Рассмотренный выше случай положил начало исследованиям по поиску пу-

тей применения клиновидных дисковых шарошек в зависимости от горно-геологических условий и в том числе физико-механических свойств горных пород. В одной из наиболее комплексных работ в данном направлении [16] в лабораторных условиях изучались три горные породы с примерно одинаковыми показателями прочности: аркоз, сланец, окаменелый известняк. Образцы горных пород были получены соответственно на следующих месторождениях: Курткой, Гоздаг и Киркларели (все – Турция). Для каждой горной породы проводилось определение ее физико-механических свойств: пределов прочности на сжатие и растяжение, модуля упругости, коэффициента Пуассона, абразивности по методу CAI, петрографический анализ и некоторые другие. Исследования проводились в соответствии с методиками, рекомендуемыми Международным сообществом геомеханики (англ. ISRM – International Society for Rock Mechanics) и Американским сообществом испытаний и материалов (англ. ASTM – American Society for Testing and Materials). Физико-механические свойства горных пород приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства образцов горных пород [16]

Параметр	Аркоз	Сланец	Окаменелый известняк
Предел прочности на сжатие, МПа	34,1±10,3	27,6±8,7	31,9±14,8
Предел прочности на растяжение, МПа	4,2±0,8	5,5±0,67	3,9±1,5
Статический модуль Юнга, ГПа	6,4±1,5	4,5±0,4	7,6±0,1
Статический коэффициент Пуассона	0,26±0,01	0,3±0,01	-
Скорость распространения <i>p</i> -волн, м/с	6068±117	5397±75	4625±114
Скорость распространения <i>s</i> -волн, м/с	3165±355	3060±139	2541±190
Динамический модуль Юнга, МПа	70,1±12	28,6±0,6	40,2±5,5
Динамический коэффициент Пуассона	0,3±0,07	0,3±0,04	0,28±0,03
Абразивность по методу CAI	2,0	1,25	0,75
Твердость по Шмидту (L-9)	30±4	49,5±3	46,4±1,7
Коэффициент точечной нагрузки ($I_{S(50)}$)	3,3±0,3	3,0±0,4	2,1±0,2
Твердость, измеренная склероскопом	32,1±1,8	34,8±2,8	36,1±5,2
Индекс внедряемости конического индентора	0,29±0,2	0,25±0,3	0,26±0,1
Плотность, г/см ³	2,68	2,7	2,41

Петрографический анализ показал следующее. Сланец в основном состоит из органических материалов, дисперсного полевого шпата, слюды и кварцевых минералов со средним размером зерна от 0,001 до 0,2 мм. Окаменелый известняк в основном состоит из альвеолиновых и нумилитовых окаменелостей, кальцита, кварца и карбонатных минералов с размером зерен от 0,2 до 1 мм. Аркоз состоит из мелкозернистого серицида и матричного мусковита, кварцевых и мусковитных минералов со средним размером зерна 0,1–0,8 мм.

В процессе испытаний, кроме типа горной породы, варьировались также режим резания (блокированный и полублокированный) и глубина резания для каждого из указанных режимов (3, 5, 7, 9 и 12 мм). В качестве показателей разрушения использовались усилия на инструменте (усилия подачи и перекачивания) и энергоемкость разрушения. Постоянными параметрами в течение испытаний были шаг резания (40, 75 и 80 мм), тип инструмента (дисковая шарошка диаметром 380 мм с шириной режущей части 1,4 мм и углом заострения режущей кромки 90°), скорость резания (12,7 см/с) и частота дискретизации данных (2000 Гц).

Для каждого набора переменных проводилось как минимум 3 реза. Для каждого испытания записывались пиковые и средние значения усилий, объем породы, полученный на единицу длины реза. Энергоемкость разрушения получали путем деления среднего усилия на объем породы. Обобщенные результаты экспериментов для каждой горной породы приведены в табл. 2–4.

Анализ проведенных исследований

Сравнение клиновидных дисковых шарошек и дисковых шарошек постоянного поперечного сечения производилось сопоставлением экспериментальных данных с расчетными (табл. 5) по наиболее распространенным на данный момент теориям.

Для клиновидных дисковых шарошек такая модель была предложена в работах [17, 18]. Она основана на предположении об эквивалентности нормального усилия значению предела прочности горной породы, умноженной на проекцию площади контакта диска с горным массивом в направлении действия вдавливающего усилия. Нормальное усилие возникает при вдавливании диска с углом заострения режущей кромки φ и диаметром D на глубину p .

Таблица 2

Обобщенные результаты исследований разрушения образцов аркоза [16]

h , мм	t , мм	t/h	F_{N_2} , кН	F_{R_2} , кН	H_w , кВт*/м ³	CI
3	-	-	29,7	3,2	10,1	397
5	-	-	49,8	4,7	7,8	400
7	-	-	89,3	10,1	7,2	397
3	40	13	28,8	2,7	6,2	438
5	40	8	42,1	3,9	5,5	429
7	40	6	60,2	7,2	7,2	425
9	40	4	92,0	9,3	7,2	426

Таблица 3

Обобщенные результаты исследований разрушения образцов сланца [16]

h , мм	t , мм	t/h	F_{N_2} , кН	F_{R_2} , кН	H_w , кВт*/м ³	CI
5	-	-	30,3	3,9	4,1	428
7	-	-	38,1	4,7	3,8	429
9	-	-	56,9	8,1	3,1	418
7	80	11	34,3	4,4	2,5	488
9	80	9	45,3	6,6	2,1	489
12	80	6,7	54,3	9,5	2,4	472



Таблица 4

Обобщенные результаты исследований разрушения образцов окаменелого известняка [16]

h , мм	t , мм	t/h	F_N , кН	F_R , кН	H_w , кВт*/м ³	CI
5	-	-	71,2	5,7	5,1	515
7,5	-	-	100,8	9,5	4,9	474
10	-	-	124,1	16,9	5,8	501
12	-	-	103,6	12,3	4,3	480
5	75	15	51,1	4,5	4,2	490
7,5	75	10	72,8	7,6	3,9	506
10	75	7,5	95,5	12,1	3,7	509
12	75	6	122,2	16,4	4,1	500

В табл. 2–4: h – глубина резания, t – шаг резания, t/h – отношения шага резания к глубине резания, F_N – усилие подачи, F_R – усилие перекатывания, H_w – энергоёмкость разрушения, CI – показатель шероховатости. Прочерк во вторых столбцах означает, что разрушение в процессе испытания производилось в режиме блокированного резания.

Усилия подачи и перекатывания с учетом описанного выше предположения определяются по формулам

$$F_N = 4 \cdot \sigma_{сж} \cdot \tan \frac{\varphi}{2} \cdot \sqrt{D \cdot p^3 - p^4}; \quad (1)$$

$$F_R = 4 \cdot \sigma_c \cdot p^2 \cdot \tan \frac{\varphi}{2}, \quad (2)$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности горной породы на сжатие, МПа.

Значения глубины резания и диаметра шарошки в формулах (1) и (2) следует брать в миллиметрах.

Для дисковых шарошек с режущей кромкой постоянного поперечного сечения самая распространенная на данный момент модель была предложена в работах [19, 20]. Она основана на определении результирующего усилия от распределенной нагрузки по периферии шарошки, контактирующей с горным массивом.

Нормальное усилие и усилие перекатывания в данной модели определяются как проекции результирующего усилия на соответствующие оси

$$F_N = \frac{2,12 \cdot \sqrt[3]{\frac{s \sigma_{сж}^2 \sigma_p}{\gamma \sqrt{RT}} RT \gamma}}{1 + \psi} \cos \frac{\gamma}{2}; \quad (3)$$

$$F_R = \frac{2,12 \cdot \sqrt[3]{\frac{s \sigma_{сж}^2 \sigma_p}{\gamma \sqrt{RT}} RT \gamma}}{1 + \psi} \sin \frac{\gamma}{2}, \quad (4)$$

где s – шаг резания, мм; $\sigma_{сж}$ – предел прочности породы на сжатие, МПа; σ_p – предел прочности породы на растяжение, МПа; R – радиус диска шарошки, мм; T – ширина режущей кромки шарошки, мм; γ – угол контакта между инструментом и горной породой, рад; ψ – коэффициент, описывающий функцию распределенной нагрузки (находится в пределах от $-0,2$ до $0,2$, уменьшаясь по мере увеличения ширины режущей кромки шарошки).

Угол контакта между инструментом и горной породой определяется по формуле

$$\gamma = \arccos \frac{R - p}{R}, \quad (5)$$

где p – глубина резания, мм.

Для теоретических расчетов для дисковых шарошек постоянного поперечного сечения принимались следующие данные: диаметр шарошки 432 мм, ширина режущей кромки 18 мм, шаг резания 300 мм.

Таблица 5

Экспериментальные и теоретические значения при разрушении образцов аркоза, сланца и окаменелого известняка [16]

Тип породы	h, мм	Эксперимент		Теория 1		Теория 2	
		F_{N_2} , кН	F_{R_2} , кН	F_{N_2} , кН	F_{R_2} , кН	F_{N_2} , кН	F_{R_2} , кН
Аркоз	3	29,7	3,2	13,5	1,2	76,8	6,4
	5	49,8	4,7	29,0	3,3	90,9	9,8
	7	89,3	10,1	47,8	6,6	101,5	13,0
Сланец	5	30,3	3,9	23,4	2,7	86,5	9,4
	7	38,1	4,7	38,7	5,3	96,6	12,4
	9	56,9	8,1	56,3	8,6	104,9	15,3
Окаменелый известняк	5	71,2	5,7	27,1	3,1	85,3	9,2
	7,5	100,8	9,5	49,6	7,0	95,2	12,2
	10	124,1	16,9	76,1	12,5	103,4	15,1

В табл. 5: Теория 1 и 2 – теоретические расчеты для дисковых шарошек клиновидного типа и постоянного поперечного сечения соответственно.

Как видно из табл. 5, расчетные значения по теории 2 выше, чем по теории 1. При этом значения усилий, полученные при помощи расчетов по теории 1, достаточно хорошо согласуются с экспериментальными данными при разрушении сланцев, а по теории 2 – с экспериментальными данными при разрушении окаменелого известняка. Значения теоретических расчетов по обеим теориям плохо согласуются с экспериментальными данными при разрушении аркоза: по теории 1 проявляется недооценка усилий примерно в два раза, а по теории 2 переоценка усилий примерно в два раза.

Также в рассматриваемой работе приводится сравнение экспериментальных данных, полученных в лабораторных условиях, с данными, полученными в полевых условиях в процессе ведения тоннелепроходческих работ в европейской части Стамбула (Турция). На проекте использовался щитовой тоннелепроходческий комплекс с грунтопригрузом (показан на рисунке) диаметром 6,52 м и примерной массой 567 т с общим числом инструментов 46: 8 многорядных дисковых шарошек в центральной части рабочего органа, 8 периферийных дисковых шарошек и 30 дисковых шарошек на основной части рабочего органа. Установленная мощность рабочего органа составляла

1160 кВт, суммарное напорное усилие – 780–1355 т, рабочий ход гидроцилиндров подачи – 1,5 м, крутящий момент – 2610–3597 кН*м, скорость вращения рабочего органа – 0–3,2 об/мин.

Все рабочие параметры записывались на каждом рабочем цикле ведения проходческих работ. Всего было произведено 262 таких цикла за 16 рабочих дней общей протяженностью 366,8 м. Рассмотренный участок состоял в основном из окаменелого известняка. Усилие трения для всего комплекса в процессе разрушения горных пород составляло около 50 кН. Оно не учитывалось при определении усилий, действующих на инструмент. Данные с проекта представлены в табл. 6.



Общий вид щитового тоннелепроходческого комплекса на проекте по строительству тоннеля Отогар-Багсилар, Стамбул, Турция (заимствование из [16])



Таблица 6

Обобщенные данные по разрушению окаменелого известняка в полевых условиях [16]

Показатель	Минимум	Максимум	Среднее значение
Количество циклов за день	7	25	16
Время, затраченное на ведение проходческих работ, мин	153	904	639
Скорость вращения рабочего органа, об/мин	2,6	3,0	2,9
Суммарное напорное усилие на рабочем органе, кН	5715	13604	10626
Крутящий момент, кН*м	1147	1997	1411
Глубина резания, мм/об	9,6	23,2	13
Напорное усилие на инструменте, кН	124	296	231
Усилие перекатывания на инструменте, кН	25	43	30
Мощность, кВт*ч	349	548	428
Производительность разрушения, м ³ /ч	58	130	76
Удельная энергоёмкость, кВт*ч/м ³	3,1	8,7	5,9

Таблица 7

Сравнение полевых, лабораторных и теоретических значений усилий и энергоёмкости разрушения окаменелого известняка на проекте [16]

Тип источника данных		Показатель	Значение			
			№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Заданная величина		Глубина резания, мм	5	7,5	10	13
		Шаг резания, мм	75	75	75	75
Лабораторные эксперименты	Средние значения	Усилие подачи, кН	51,1	72,8	95,5	122,2
		Усилие перекатывания, кН	4,5	7,6	12,1	16,4
	Пиковые значения	Усилие подачи, кН	96,3	133,5	172,2	217,8
		Усилие перекатывания, кН	8,6	16,1	22,1	30,4
		Энергоёмкость разрушения, кВт*ч/м ³	4,2	3,9	3,7	4,1
		Удельная энергоёмкость, кВт*ч/м ³	3,1	8,7	5,9	5,9
Полевые испытания		Усилие подачи, кН	-	-	-	231
		Усилие перекатывания, кН	-	-	-	30
		Энергоёмкость разрушения, кВт*ч/м ³	-	-	-	5,9
Теоретический расчет		Усилие подачи, кН	34,2	58,9	87,7	127,6
		Усилие перекатывания, кН	3,8	8,2	14,3	24

Сравнительный анализ полевых и лабораторных экспериментальных данных, а также расчетных теоретических значений приведен в табл. 7. При этом для полевых испытаний взяты средние значения из табл. 6.

Как видно из табл. 7, пиковые значения усилий по результатам лабораторных испытаний близки к средним значениям, полученным в полевых условиях: 217,8 кН и 30,4 кН близки к 231 и 30 кН соответственно для усилия подачи и усилия перекатывания. При этом энергоёмкость разрушения в полевых условиях выше примерно на 25 %. Теоретический

расчет близок к средним значениям усилий, полученных при разрушении образцов в лабораторных условиях, причем по мере возрастания глубины резания точность расчета увеличивается для усилия подачи и снижается для усилия перекатывания. Теоретическое усилие перекатывания при глубине резания 13 мм довольно близко к полевым значениям, но более существенное усилие подачи по результатам теоретических расчетов почти в два раза ниже полевых значений. Отношение пикового усилия подачи к среднему усилию подачи в лабораторных условиях составляет примерно 1,8, а для



усилия перекачивания это соотношение составляет примерно 1,85.

Заключение

По результатам этой работы можно сделать следующие выводы. Эффективность разрушения горных пород, имеющих довольно близкие значения прочности, но разную структуру и текстуру, может значительно различаться как при испытаниях в лаборатории, так и на горно-промышленном объекте. Предсказательная способность теоретических моделей также серьезно зависит не только от физико-механических свойств горной породы, но и структурно-текстурных особенностей. Кроме того, теоретические расчеты могут быть точнее для разных инструментов в зависимости от типа горной породы. Важно отметить, что теоретические расчеты могут достаточно хорошо согласоваться со средними значениями лабораторных данных. В то же время средние лабораторные значения меньше пиковых, которые, в свою очередь, достаточно близки к полевым данным, примерно в 1,8–1,85 раза.

Что касается перспектив применения клиновидных лобовых дисковых шарошек, то их использование может быть целесообразным, например, при разрушении сланцев или других вязких пород при условии незначительного количества минеральных включений. Также их использование может быть оправдано при разрушении очень крепких и абразивных пород, в случае если стандартный инструмент показывает недопустимо низкую эффективность, но при этом следует учитывать повышенный расход инструмента, что будет приводить к частым остановкам работ.

Библиографический список

1. Хорешок А.А., Кузнецов В.В., Борисов А.Ю. Обоснование геометрических параметров дискового инструмента для исполнительных органов проходческих комбайнов //

- Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 2. – С. 11-13.
2. Перспективы применения дискового инструмента для коронок проходческих комбайнов / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, В.В. Кузнецов, А.Ю. Борисов // Вестник КузГТУ. – 2010. – № 1. – С. 52–54.
3. Хорешок А.А., Кузнецов В.В., Борисов А.Ю. Прогнозирование максимального объема разрушенного материала дисковым инструментом // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 9. – С. 299–304.
4. Распределение напряжений в узлах крепления дискового инструмента на коронках проходческих комбайнов / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, В.В. Кузнецов, А.Ю. Борисов, А.В. Воробьев // Вестник КузГТУ. – 2012. – № 6. – С. 34–40.
5. Основные этапы разработки и моделирования параметров дискового инструмента проходческих и очистных горных машин / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, В.И. Нестеров, А.Ю. Борисов // Горное оборудование и электромеханика. – 2015. – № 7. – С. 9–16.
6. Rostami J. Study of pressure distribution within the crushed zone in the contact area between rock and disc cutters // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2013. – Т. 57. – Pp. 172-186.
7. Li F., Cai Z., Kang Y. A Theoretical Model for Estimating the Wear of the Disc Cutter // Applied Mechanics and Materials. – 2011. – Т. 90-93. – Pp. 2232-2236.
8. Tumac D., Balci C. Investigations into the cutting characteristics of CCS type disc cutters and the comparison between experimental, theoretical and empirical force estimations // Tunneling And Underground Space Technology. – 2015. – Т. 45. – Pp. 84-98.
9. Maidl B., Schmid L., Ritz W., Herrenknecht M. Hardrock Tunnel Boring Machines. Berlin: Ernst and Son. 2008. – 343 p.
10. Zhabin A., Polyakov A., Averin E. Scale factors for conversion of forces on disc cutters for the main domestic and foreign methods // Mining of Mineral Deposits. – 2017. – Т. 11. – № 3. – Pp. 50-55.
11. Bilgin N., Copur H., Balci C. Mechanical excavation in mining and civil industries. CRC Press, 2013. – 353 С.
12. Bilgin N., Copur H., Balci C. Effect of replacing disc cutters with chisel tools on performance of a TBM in difficult ground conditions //

Tunnelling and Underground Space Technology. – 2012. – Т. 27. – №. 1. – Pp. 41-51.

13. Guclucan Z. и др. The use of a TBM in difficult ground conditions // Proceedings of the 2nd Symposium on Underground Excavations for Transportation, Istanbul, Turkey. – 2007. – Pp. 83-91. (на турецком языке).

14. Guclucan Z. и др. The use of a TBM in difficult ground conditions in Beykoz–Kavacik Sewerage Tunnel // Proceedings of the World Tunnelling Congress, Underground Facilities for Better Environment and Safety, Agra, India. – 2008. – Pp. 1630-1638.

15. Guclucan Z. и др. The use of theoretical rock cutting concepts in explaining the cutting performance of a TBM using different cutter types in different rock formations and some recommendations // Proceedings of World Tunnelling Congress, Safe Tunnelling for the City and for the Environment, Budapest, Hungary. – 2009. – Pp. 487-489.

16. Balci C., Tumac D. Investigation into the effects of different rocks on rock cuttability by a V-type disc cutter // Tunnelling and under-

ground space technology. – 2012. – Т. 30. – Pp. 183-193.

17. Roxborough F.F., и др. Fundamental studies on the mechanics of cutting rock with discs // Third Australian Tunnelling Conference: Preprints of Papers. – Institution of Engineers, Australia, 1978. – Pp. 43-47.

18. Roxborough F. F., Phillips H. R. Rock excavation by disc cutter // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts. – 1975. – Т. 12. – №. 12. – Pp. 361-366.

19. Rostami J., Ozdemir L. A new model for performance prediction of hard rock TBMs // Proceedings of the rapid excavation and tunneling conference. – Society for mining, metallurgy & exploration, Inc. – 1993. – Pp. 793-793.

20. Rostami J., Ozdemir L., Nilson B. Comparison between CSM and NTH hard rock TBM performance prediction models // Proceedings of Annual Technical Meeting of the Institute of Shaft Drilling Technology, Las Vegas. – 1996. – Pp. 1-10.

“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2018, No. 4, pp. 41-50

Title:	Foreign experience in using wedge disk rolling cutters for equipping tunneling shields
Author 1:	E.A. Averin LLC "Skuratovsky skilled and experimental plant" 8, Experimental str., Komsomolsky village, Tula, Russia, 300911
Abstract:	In the foreign practice of designing and operating tunneling shields, it is now customary to equip the tunneling systems with large diameter CCS type disk rolling cutters. However, there is another type of disk rolling cutters for rock breaking, wedge disk rolling cutters, which, as practice shows, in some situations can provide higher work efficiency than the standard tool. Domestic researches in this field comes down mainly to the study of wedge disk rolling cutters of relatively small diameter for equipping boom ripper tunneling machines. However, this experience cannot be applied to the operation of tunneling systems; therefore, the study of foreign experience on this issue is advisable. This paper presents analysis of comprehensive studies conducted by foreign experts in the construction of various purpose tunnels in Turkey in the first decade of this century. These studies include determining wide range of physical and technical properties of rocks, performing laboratory and field tests to determine power characteristics of the rock breakage process, comparing laboratory, field and theoretical calculated values of power and energy performance of tunneling systems. Based on findings of the tests it was found that rock breakage efficiency is determined not only by the rock strength, but also by its structural and texture features. Differences were observed when comparing the laboratory experiment data with the field data, and when comparing the laboratory and field values of disk rolling cutter cutting force in the process of rock breakage with the theoretically calculated values. In addition, breakage of viscous non-abrasive rocks with small amount of mineral inclusions or, with certain reservations, breakage of very strong and abrasive rocks should be referred to promising applications for wedge frontal disk rolling cutters. Not all conclusions made on the basis of the analysis coincide with the opinions of the authors of the initial stud-



	ies, therefore, for more complete understanding of the topic, it is recommended to read the literature (especially foreign one) included in the list of cited sources.
Keywords:	disk rolling cutter, mechanical breakage, tunnel, tunneling system, foreign experience, identifying prospects, cutting force, field of application.
References:	<p>1. Horeshok A.A., Kuznecov V.V., Borisov A.Ju. Obosnovanie geometricheskikh parametrov diskovogo instrumenta dlja ispolnitel'nyh organov prohodcheskih kombajnov [<i>Substantiation of ge-ometrical parameters of the disk tool for the cutting heads of the roadheaders</i>]. Gornoe oborudovanie i jelektromehaniika. – 2008. – No. 2. – Pp. 11-13. In Russ.</p> <p>2. Horeshok A.A., Mamet'ev L.E., Kuznecov V.V., Borisov A.Ju. Perspektivy primenenija diskovogo instrumenta dlja koronok prohodcheskih kombajnov [<i>Perspectives of applying of the disk cutter for bits of heading machines</i>]. Vestnik KuzGTU. – 2010. – No. 1. – Pp. 52–54. In Russ.</p> <p>3. Horeshok A.A., Kuznecov V.V., Borisov A.Ju. Prognozirovanie maksimal'nogo ob'ema razrushennogo materiala diskovym instrumentom [<i>Prediction of the maximum volume of the mate-rial destroyed by disk cutter</i>]. Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal). – 2011. – No. 9. – Pp. 299–304. In Russ.</p> <p>4. Horeshok A.A., Mamet'ev L.E., Kuznecov V.V., Borisov A.Ju., Vorob'ev A.V. Raspredelenie naprjazhenij v uzlah krepnenija diskovogo instrumenta na koronkah prohodcheskih kombajnov [<i>Distribution of pressure in knots of fast-ening of the disk tool on the crowns of heading machines</i>]. Vestnik KuzGTU. – 2012. – No. 6. – Pp. 34–40. In Russ.</p> <p>5. Horeshok A.A., Mamet'ev L.E., Cehin A.M., Nesterov V.I., Borisov A.Ju. Osnovnye jetapy razrabotki i modelirovanija parametrov diskovogo instrumenta prohodcheskih i ochistnyh gornyh mashin [<i>The Main Stages of Development and Modeling Parameters of the Disk Tool Roadheaders and Shearers</i>]. Gornoe oborudovanie i jelektromehaniika. – 2015. – No. 7. – Pp. 9–16.</p> <p>6. Rostami J. <i>Study of pressure distribution within the crushed zone in the contact area be-tween rock and disc cutters</i>. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2013. – Vol. 57. – P. 172-186.</p> <p>7. Li F., Cai Z., Kang Y.A Theoretical Model for Estimating the Wear of the Disc Cutter. Applied Mechanics and Materials. – 2011. – Vol. 90-93. – Pp. 2232-2236.</p> <p>8. Tumac, D., Balci C. <i>Investigations into the cutting characteristics of CCS type disc cutters and the comparison between experimental, theoretical and em-pirical force estimations</i>. Tunnelling And Underground Space Technology. 2015. – Vol. 45. – Pp. 84-98.</p> <p>9. Maidl B., Schmid L., Ritz W., Herrenknecht M. <i>Hardrock Tunnel Boring Machines</i>. Berlin: Ernst and Son. 2008. – 343 p.</p> <p>10. Zhabin A., Polyakov A., Averin E. [Scale factors for conversion of forces on disc cutters for the main domestic and foreign methods] Mining of Mineral Deposits. – 2017. – Vol. 11. – No. 3. – Pp. 50-55.</p> <p>11. Bilgin N., Copur H., Balci C. <i>Mechanical excavation in mining and civil in-dustries</i>. Boca Raton-London-New York: CRC Press, 2013. – 353 P.</p> <p>12. Bilgin N., Copur H., Balci C. Effect of replacing disc cutters with chisel tools on per-formance of a TBM in difficult ground conditions. Tunnelling and Underground Space Technology. – 2012. – Vol. 27. – No. 1. – Pp. 41-51.</p> <p>13. Guclucan Z. et al. <i>The use of a TBM in difficult ground conditions</i>. Proceedings of the 2nd Symposium on Underground Excavations for Transportation, Istanbul, Turkey. – 2007. – Pp. 83-91. (in Turkish).</p> <p>14. Guclucan Z. et al. <i>The use of a TBM in difficult ground conditions in Beykoz–Kavacik Sewerage Tunnel</i>. Proceedings of the World Tunnelling Con-gress, Underground Facilities for Bet-ter Environment and Safety, Agra, India. – 2008. – Pp. 1630-1638.</p> <p>15. Guclucan Z. et al. <i>The use of theoretical rock cutting concepts in explaining</i></p>



the cutting performance of a TBM using different cutter types in different rock formations and some recommendations. Proceedings of World Tunnelling Congress, Safe Tunnelling for the City and for the Environment, Budapest, Hungary. – 2009. – Pp. 487-489.

16. Balci C., Tumas D. *Investigation into the effects of different rocks on rock cuttability by a V-type disc cutter.* Tunnelling and underground space technology. – 2012. – Vol. 30. – Pp. 183-193.

17. Roxborough F.F., et al. *Fundamental studies on the mechanics of cutting rock with discs.* Third Australian Tunnelling Conference: Preprints of Papers. – Institution of Engineers, Australia, 1978. – Pp. 43-47.

18. Roxborough F. F., Phillips H. R. *Rock excavation by disc cutter.* International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts. – 1975. – Vol. 12. – No. 12. – Pp. 361-366.

19. Rostami J., Ozdemir L. *A new model for performance prediction of hard rock TBMs.* Proceedings of the rapid excavation and tunneling conference. – Society for mining, metallurgy & exploration, Inc. – 1993. – Pp. 793-793.

20. Rostami J., Ozdemir L., Nilson B. *Comparison between CSM and NTH hard rock TBM performance prediction models.* Proceedings of Annual Technical Meeting of the Institute of Shaft Drilling Technology, Las Vegas. – 1996. – Pp. 1-10.