

На правах рукописи

СЛЮСАРЕНКО ВАЛЕРИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ



**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РОТОРНЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ
ПРОХОДЧЕСКИХ ЩИТОВ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЧИВОСТИ
СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД**

**05.23.11 - Проектирование и строительство
дорог, метрополитенов, аэродромов,
мостов и транспортных тоннелей**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва-2004

Работа выполнена на кафедре «Тоннели и метрополитены» в Московском государственном университете путей сообщения (МИИТ).

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор **Демешко Евгений Андреевич**

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор **Косицын Сергей Борисович**

кандидат технических наук, профессор **Маковский Лев Вениаминович**

Ведущая организация: ОАО ЦНИИС

Защита диссертации состоится «__» _____ 2004г. в ____ часов на заседании диссертационного совета Д 218.005.06 при Московском государственном университете путей сообщения по адресу: 127994, ГСП-4 Москва, _____, ул. Образцова. 15, ауд. _____

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «__» _____ 2004г.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный гербовой печатью, просим направлять по адресу совета университета.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 218.005.06,
профессор



Э.С. Спиридонов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В настоящее время отмечается значительный прогресс в технологии щитовой проходки тоннелей, успешно конкурирующий с горным и буро-взрывным методом. Новые тоннелепроходческие агрегаты с роторным рабочим органом, в т.ч. с активным пригрузом, заметно расширили область применения щитовой техники. Присущая тоннелепроходческим комплексам механическая разработка забоя специальным породоразрушающим инструментом (особенно шарошечным) является определяющим фактором их конкурентоспособности и достижения высоких производственных показателей. Вооруженные шарошками и резцами, такие щиты существенно повысили свою универсальность. Это убедительно продемонстрировал щитовой комплекс при сооружении уникального Лефортовского тоннеля в г. Москве.

В тоже время обоснование использования механизированных щитов и комплексов делается обычно по качественным признакам, так как отсутствуют методы расчетов количественных оценок их механических и технологических показателей при эксплуатации. Как известно, на последние сильно влияют непрерывно меняющиеся геотехнические условия проходки. В этой связи актуальной проблемой является исследование слабо изученной проблемы разработки забоя шарошками для надежной и обоснованной оценки показателей механизированных щитов в конкретных инженерно-геологических условиях. Это потребовало теоретического анализа процесса взаимодействия шарошек с забоем с учетом изменчивости горных пород, разработки алгоритма перехода от усилий их разрушения к параметрам рабочего органа и щита, создания специализированной компьютерной программы, способной обеспечить расчет и обобщение крупных статистических совокупностей многих изменчивых параметров

Цель исследования заключается в следующем: исследование задачи взаимодействия шарошечного инструмента с разработкой алгоритма и программного продукта для расчета параметров тоннелепроходческих агрегатов.

Для достижения этой цели решаются следующие задачи:

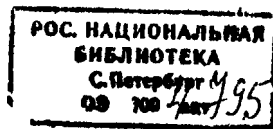
- обзор и анализ современного состояния мировой тоннелепроходческой техники с классификациями щитовых агрегатов и породоразрушающего инструмента;

- изучение неоднородности и изменчивости свойств горных пород применительно к работе шарошечного инструмента;

- теоретическое исследование взаимодействия шарошечного инструмента с горными породами, выбор эффективной теории прочности горных пород;

- разработка методики обоснования нелинейной теории предельного напряженного состояния горных пород на основе огибающих кругов Мора;

- разработка численного метода и алгоритма решения задачи разрушения пород шарошкой;



-разработка, на основе алгоритма с учетом ранее установленных теоретических исследований, компьютерной программы «DISC-2» с интерфейсом;

-разработка статистической методики учета изменчивости горных пород при определении случайных параметров шарошки, механических и технологических характеристик тоннелепроходческих агрегатов;

-исследование методом математического моделирования характера зависимостей основных параметров проходческих агрегатов от основных влияющих факторов.

Научная новизна:

- Разработана методика обоснования нелинейной теории предельного напряженного состояния горных пород, применительно к теории прочности Мора-Кулона, развитой Г.А. Гениевым для объектов механики сплошной среды.
- Разработан нетрадиционный численный метод и алгоритм решения задачи разрушения горных пород шарошкой произвольного профиля.
- Разработана методика статистического расчета параметров шарошки и тоннелепроходческих агрегатов.
- На основе математического моделирования с применением программы «DISC-2» получены ранее неизвестные графические зависимости параметров проходческих агрегатов, вооруженных шарошками произвольного профиля от действующих факторов.

Практическая значимость. Разработан программный продукт «DISC-2» и методики статистического расчета, позволяющие:

а) осуществлять моделирование проблем проходки тоннелей в скальных грунтах щитами и агрегатами, вооруженными шарошками произвольного профиля;

б) получать объективные количественные оценки параметров щитовых агрегатов при сооружении тоннелей с учетом изменчивости свойств горных пород;

в) устанавливать на стадии составления ТЭО и проектирования строительства тоннелей рациональные решения технологических схем сооружения тоннелей, осуществлять выбор эффективных конструкций щитовых комплексов.

Достоверность результатов обеспечивается использованием апробированных теорий прочности Мора-Кулона и нелинейной механики сплошной среды, проверкой по огибающим предельных кругов Мора, предложений В. Соколовского, М. Протодяконова и Г. Гениева, сравнением расчетных значений по программе «DISC-2» и натуральных показателей реальных тоннелепроходческих агрегатов.

Личный вклад. Выполнено теоретическое обоснование и разработка алгоритма решения задачи взаимодействия шарошечного инструмента с горной породой, а также функциональной зависимости параметров роторного органа щита от параметров процесса взаимодействия. Диссертант является соавтором

новой программы ПЭВМ. Кроме того, им разработана методика учета изменчивости горных пород.

Апробация работы. Основные результаты работы обсуждались на заседаниях: кафедры «Тоннели и метрополитены» с участием представителей кафедр «Строительная механика» и «САПР мостов и тоннелей», в Научно - исследовательском центре «Тоннели и метрополитены» ОАО ЦНИИС, на Международной конференции «Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений» в г. Екатеринбург в 2004 г., на Международной научно - практической конференции «Городские подземные сооружения - опыт и возможности освоения подземного пространства на коммерческой основе» в 2004г. Основные результаты исследований опубликованы в 3 печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы (97 наименований), 3-х приложений. Работа содержит 175 страниц машинописного текста, 64 иллюстрации, 20 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность и формируется цель диссертационной работы.

В главе 1 дан обзор и анализ современного состояния сооружения тоннелей на основе применения тоннелепроходческих механизированных щитовых агрегатов, оснащенных роторным рабочим органом и шарошечным породоразрушающим инструментом (ТПМА). Благодаря сформулированным достоинствам ТПМА заняли лидирующие позиции в парке проходческих щитов других систем (частично механизированных, механизированных с планерными, стреловыми, экскаваторными и другими рабочими органами). Об этом убедительно свидетельствуют примеры сооружения тоннелей диаметром 3 - 14 м и длиной 2 - 14 км, со средним 200 - 600 м/меси максимальными 70 м/сут представленными в таблице 1. Составлена классификация ТПМА (рис.1) подразделяет их на четыре основные группы: а) ТПМ (в т.ч. с пригрузом в забое) для проходки в скальных грунтах; б) ТМЩ - в мягких грунтах; в) универсальная ТМЩ - в скальных и мягких; г) агрегаты для микротоннелирования. Показаны новейшие усовершенствования конструкций механизированных щитов, расширивших область их применения.

Шарошечный инструмент, первоначально превалируемый в ТПМ, успешно используется и в ТМЩ для песчано-глинистых водонасыщенных грунтов с включениями валунов и прослоек крепких пород, также на тоннелях, залегающих частично в мягких и скальных грунтах. Анализ ТПМА показал, что после второй мировой войны в создании механизированных щитов

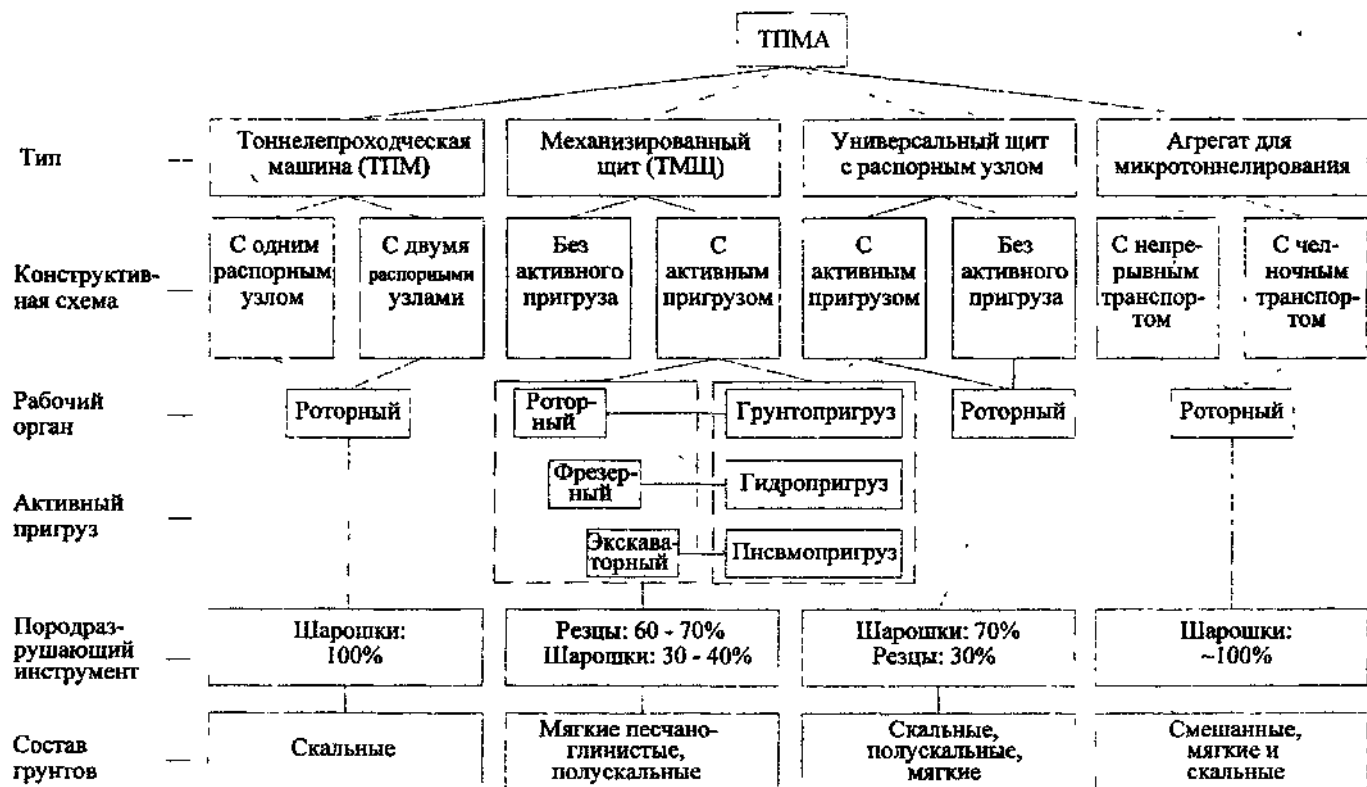


Рис. 1 Классификация современных тоннелепроходческих механизированных агрегатов

первенствовал СССР, а в 1955 - 1965 гг. успешные исследования по щитам с пригрузом были выполнены в ЦНИИС Минтрансстроя. Однако, с 1980 - 90 гг. и далее стала лидировать зарубежная щитовая техника фирм: Роббинс (США); Вайс унд Фрайтаг, Вирт, Херренкнехт (Германия); Фёст Альпинс (Австрия); Ловат (Канада); Мицубиси, Комацу, Кавасаки (Япония). Применение ТПМА все чаще вытесняет буровзрывной способ • проходки тоннелей. Изучение породоразрушающего инструмента показало его эффективность для разработки скальных горных пород, шарошка - единственно способный инструмент для разрушения забоя в породах прочностью на одноосное сжатие до 300 - 400 МПа, что обеспечивается в первую очередь, заменой в процессе работы скольжения на качение. Большое разнообразие новых видов шарошек привело к расширению их области применения. Роторный рабочий орган, оснащенный шарошками показан на рис. 2а, а дисковая шарошка - рис 2б.

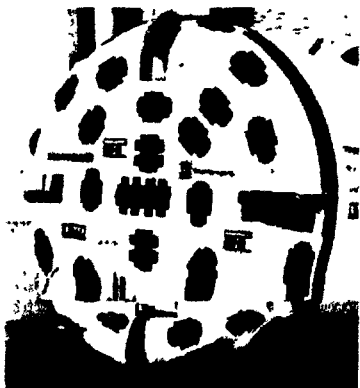


Рис. 2а Роторный рабочий орган ТПМ, оснащенный шарошками.



Рис. 2б Однодисковая шарошка

Таблица 1

Характеристика тоннелей, сооруженных с применением механизированных щитов и ТПМ.

Местоположение	Порода (прочность, МПа)	Длина тоннеля пройденного ТПМ, м	Диаметр ТПМ, м	Скорость проходки забоя, м/месц		Фирма изготовитель ТПМ
				Средняя	Максимальная	
1	2	3	4	5	6	7
Деривационный ГАЭС Арк-Изер, Франция	Граниты, сланцы	9742	5,8	210	652	"Wirth" Германия
Деривационный ГЭС Эшайон, Франция	Гнейсы, известняки	4765	5,3	250	503	"Wirth"
Лаусит, США	Песчаники, кварциты, (до 260 МПа)	5210	4,0	415	71,4*	"Robbins"
Мангла Дам (Пакистан) 1963	Песчаник, известняк	4,3	11,2	---	---	"Robbins"
Автомобильный тоннель Зоппенберг (Швейцария), 1970	Песчаник	2x1,4	10,46	---	---	"Wirth"
Ж/д тоннель Хайтерсберг (Швейцария), 1971	Песчаник, мергель, сланец	2,6	10,67	---	---	"Robbins"
Канализационная система TAAR в г. Чикаго (США), 1979, 1990	Доломит, известняк	6,6 9,9	10,8 10,8	---	---	"Robbins"
Тоннель Танюшьянго (КНР), 1984	Песчаник, известняк	9,9	10,8	---	---	"Robbins"
Автомобильный тоннель Невшатель (Швейцария), 1985	Мергель, известняк, мел	2x2,5	11,3	---	---	"Wirth"
Ж/д тоннель Цюрихберг (Швейцария), 1985	Ледниково-вые отложения	4,36	11,52	---	---	"Robbins"
Гидротехнические тоннели в г. Милуоки (США), 1989	Доломитовый известняк	3,4 6,5	9,75 9,85	---	---	"Robbins"
Автомобильный тоннель Бейберг (Швейцария), 1990	Известняк, глина	2x3,7	11,8	---	---	"Robbins" "Herrenknecht"
Автомобильный тоннель Захельн	Известняк	5,19	11,77	---	---	"Robbins"
Базисный т. Готтард (Швейцария - Италия), с 2003 г.	Гнейс, гранит, сланец	11580 12220	8,83 9 33	---	---	"Herrenknecht" (Германия)
Базисный т. Готтард (Швейцария - Италия), с 2003 г.	Гранит	2x11550	2x9,58	---	---	"Herrenknecht"
Лечберг, Швейцария с 2003 г.	Гнейс, гранодиорит	8925 10300	9,43 9,43	---	---	"Herrenknecht"
Тулуза, Метро, Франция 2002 - 2007	Песчаник, сланец	5050	7,75	---	---	"Herrenknecht"
Гвадарам, Испания, 2003 - 2005	Гнейс, Гранит	2x14500	2x9,51	---	---	"Herrenknecht"
Лефортово, Москва, Россия 2001 - 2003	Песок, глина, известняк	2222	14,2	200	---	"Herrenknecht"

* - скорость проходки в м/сутки

Данная глава касается также вопроса неоднородности и изменчивости свойств горных пород и их влияния на ее прочность. Показана статистическая природа этого явления; классификация пород по данным признакам; способы оценки статистических свойств пород и принятые их показатели (крепость f по М.М. Протодяконову, прочность на сжатие R_c и растяжение R_p , контактная крепость R_k , практическая система оценки — по буримости и др.). Приведены графики, устанавливающие их взаимозависимости и возможность перехода от одних к другим. Систематизированы влияющие на изменчивость пород факторы. Обоснован выбор наиболее распространенных показателей прочности породы - R_c и R_p , для исследования влияния изменчивости на параметры роторного рабочего органа. Отметим видных специалистов ученых и инженеров, работавших в областях, на труды которых опирается диссертация. В создании тоннелепроходческих механизированных агрегатов, начиная с середины XX века, внесли большой вклад такие отечественные специалисты как Ауэрбах В.М., Болотин Е.М., Власов С.Н., Волков В.П., Гапанович В.М., Гуцко В.А., Демешко Е.А., Иванов В.А., Иванов В.Г., Иерусалимский Б.Н., Клорикьян В.Х., Максимов Б.С., Малевич Н.А., Маливанов Д.И., Недзвецкий Г.А., Островский И.С., Пружинер В.Л., Размеров В.И., Самойлов В.П., Семенов А.Н., Тутнов А.О., Фишман И.Д., Ходош В.А., Черкасов Н.Е., Чижов А.А., Шляпин К.Б., Шмаков В.П. и др. Из зарубежных следует отметить специалистов фирм Роббинс, Калвелд, Джарава, Дрессер (США); Тиссен, МакАлпайн, Хауден (Англия); Вайс унд Фрайтаг, Вирт, Баде, Тиллен, Хольцман, Херренкнехт (Германия); Фёст-Альпине (Австрия); Мицубиси, Комацу, Кавасаки (Япония) и др. В механике горных пород видное место занимают такие исследователи как Баклашов И.В., Барон Л.И., Картозия Б.А., Либерман Ю.М., Каган А.А., Протодяконов М.М., Рац М.В., Руппенейт К.В., Федунец Б.И., Черепанов Г.П., а также зарубежные ученые: Беньявский З.Т., Гудман Р.Е., Джегер Ч., Кук Н., Миллер Л., Пек Р.Б., Талобр Ш. и др.

В главе 2 рассмотрены особенности разрушения скальных пород дисковой шарошкой. Обзор ранее предложенных расчетных методик, описывающих разрушение пород под действием активного давлений перекачиваемой по забою шарошки показал, что эти расчеты носят инженерный и эмпирический характер. Результаты, полученные при расчете, относятся ко всей совокупности щитов одного диаметра. Более отвечающий требованиям является полумпирический метод Н.Е. Черкасова, который основан на определении усилия резания одиночным резцом на специальном приборе, содержащем образец конкретной горной породы. Затем полученное усилие резания распространяется на все их количество в данной конструкции щита. Указанный метод требует чрезмерно большого объема лабораторных испытаний образцов из забоя еще не пройденного тоннеля. Более продуктивен теоретический подход, базирующийся на феноменологических особенностях процесса взаимодействия шарошки и горной породы во время ее разрушения

при исчерпании прочности. Теоретические исследования покоятся на механике сплошной среды, которая получила развитие в трудах таких крупных ученых как Болотин В.В., Гениев Г.А., Голушкевич С.С., Маслов Н.Н., Илюшин А.А., Ишлинский А.Ю., Соколовский В.В., Филоненко-Бородич М.М., Христианович С.А., а также Зинкевич О.К., Мор О., Надаи А., Прандтль Л., Хилл Р. и многие другие.

Процесс работы шарошки исследован ранее Б.А. Демешко, и им получено геометрическое описание ее движения и характер силового воздействия на забой, которое сводится, в конечном счете, к контактной задаче внедрения клинового профиля в породную среду с ее локальным разрушением. Явление потери прочности материала под действием внешней нагрузки изучено многочисленными экспериментами, которые были положены в основу теорий прочности строительных и природных материалов. В главе рассмотрены шесть наиболее известных теорий прочности и предложенные для их обоснования критерии прочности.

Лабораторные и натурные исследования, проведенные в период развития механики скальных горных пород и грунтов, показали наибольшую приемлемость критериев Мора-Кулона, отражающих характер поведения этих природных образований во время разрушения. Разрушение начинается с достижения предельного напряженного состояния (ПНС), теоретически представляемого предельной поверхностью, отражающей переход от упругого к пластическому состоянию. В нормальных напряжениях σ_n и касательных τ_n ПНС имеет вид огибающей предельных кругов Мора. Доказано, что в грунтах последняя получает форму прямой (Кулон, Терцаги, Цытович, Соколовский, Маслов и др.), а в скальных породах - кривой (Барон, Соколовский, Руппенейт, Протодьяконов, Гудман и др.). Аналитическое развитие теории на основе нелинейного критерия Мора $|\tau_n| = f(\sigma_n)$ для скальных пород дано Г.А. Гениевым, выполнившим опыты с разрушением образцов. Предложенная нелинейная огибающая в виде параболы может быть построена по основным показателям прочности на одноосное сжатие R_c и одноосное растяжение R_p , что в общем виде (через главные напряжения $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$) записывается условием, аналогичным, в общих чертах, условием Филоненко-Бородича и Баландина.

$$\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - (\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1) - (R_c R_p)(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) = R_1 R_2.$$

Далее в этой главе приводятся теоретические обоснования Г.А.Гениева, позволившие получить для плоской задачи разрешающие дифференциальные уравнения в системе прямоугольных координат относительно двух новых переменных: β - параметра напряженности, γ - угла направления σ_1 . Для окончательного решения Г.А. Гениевым выведены две системы уравнений:

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg}(\beta + \gamma), \quad \operatorname{tg} 2\gamma - 2\gamma + 2\beta = C_1(Z);$$

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg}(\beta - \gamma), \quad \operatorname{tg} 2\gamma - 2\gamma - 2\beta = C_2(U),$$

где γ -угол между характеристиками - линиями скольжения, однозначно преобразующийся в параметр:

$C_1(Z)$ - постоянная вдоль линии скольжения 1-го семейства;

$C_2(U)$ - тоже - N-го семейства.

Эти уравнения в дальнейшем (гл. 3) используются нами, чтобы с применением дискретного численного метода (аналогичного в определенных условиях разностным уравнениям В.В. Соколовского) получить решение задачи разрушения горных пород шарошкой произвольного профиля.

Для уточнения приемлемости исходного уравнения прочности, демонстрируемого нелинейной огибающей, нами проанализированы ее уравнение а так же уравнения В.В. Соколовского (рис. 3) и М.М. Протодяконова - младшего (рис. 4), выведенными, исходя из других предпосылок.

Анализ показал, что при определенных, установленных нами условиях перехода, все три различные огибающие практически совпадают.



Рис.3

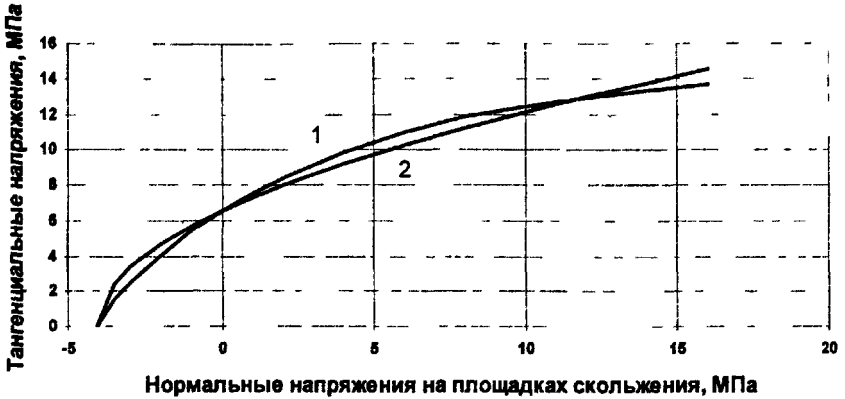


Рис.4

В 3 главе приводятся основные исследования по построению дискретной модели шарошки произвольного профиля роторных щитов с целью расчета задачи ее внедрения в породный забой. При этом указаны принятые ограничения и допущения. Как во всех аналогичных контактных задачах, при внедрении твердого штампа в среду образуются три пластических области: максимального ПНС, переходная и минимального ПНС. На рис.5 показана криволинейная внедряющаяся часть шарошки и фрагмент распределенных сил сопротивления на контакте, учитывающих силы трения со стороны горной породы. На рис. 6 приведен фрагмент кривых линий скольжения, прилегающих к контуру шарошки. Аналитическое решение требует учета всех значений указанных на рис.6 углов. При дискретном методе произвольный профиль шарошки делится точками a на прямые участки вписанной ломаной линией, а кривые скольжения заменяются прямыми отрезками. Для решения плоской задачи приведены все необходимые зависимости указанные на рис.6 углов, позволяющие решить в каждом узле неявное трансцендентное уравнение:

$$tg(2 \arccos \frac{T}{t}) - 2 \arccos \frac{T}{t} + \arccos \left[\frac{C(t)}{t} \sin \rho \right] = -2\alpha - \rho + \frac{3\pi}{2} + tg 2\gamma' - 2\gamma'. \quad (1)$$

Решение (1) требует знания параметра t в обл. III на контуре, которое устанавливается в следующем порядке: от нижней т. a_0 до верхней т. a_n с последовательным построением отрезков скольжения, а также с учетом знания граничных условий в обл. I. Разработанный численный метод дает возможность определять все напряжения в каждом узле сетки и построить граничную линию скольжения. Такое построение показано на рис. 7. Зона выпирания с областями предельного напряженного состояния I, II, III отделяется от упругой части природного массива граничной линией скольжения A, B, D, C. В области I напряжения в любой точке одинаковы, а линии скольжения обоих семейств - прямые, пересекающиеся между собой под углом 2γ . В области II поле

напряжений - центрированное, а напряжения постоянны только вдоль прямых радиусов - векторов 1-го семейства и меняются вдоль кривых скольжения II-го семейства. В области III напряжения также постоянны вдоль прямых скольжения 1-го семейства, и переменны вдоль II-го семейства. При численном расчете одновременно определяются значения контактных сопротивлений породы внедрению шарошки. Эпюры этих напряжений показана на рис. 8 вместе с вычисленной эпюрой активного давления в радиальном сечении. В дальнейшем расчете, с использованием эпюр в каждом радиальном сечении строится осевая эпюра разрушающего активного давления (рис. 9), лежащая в срединной плоскости шарошки нормальной к оси ее вращения. В конечном счете, для шарошки устанавливается равнодействующая контактных напряжений сопротивления с учетом сил трения и активное нормальное усилие подачи, тангенциальное усилие и крутящий момент. Суммируя эти усилия по всем шарошкам, получаем силу подачи и крутящий момент для ротора, позволяющие вычислить остальные параметры роторного органа.

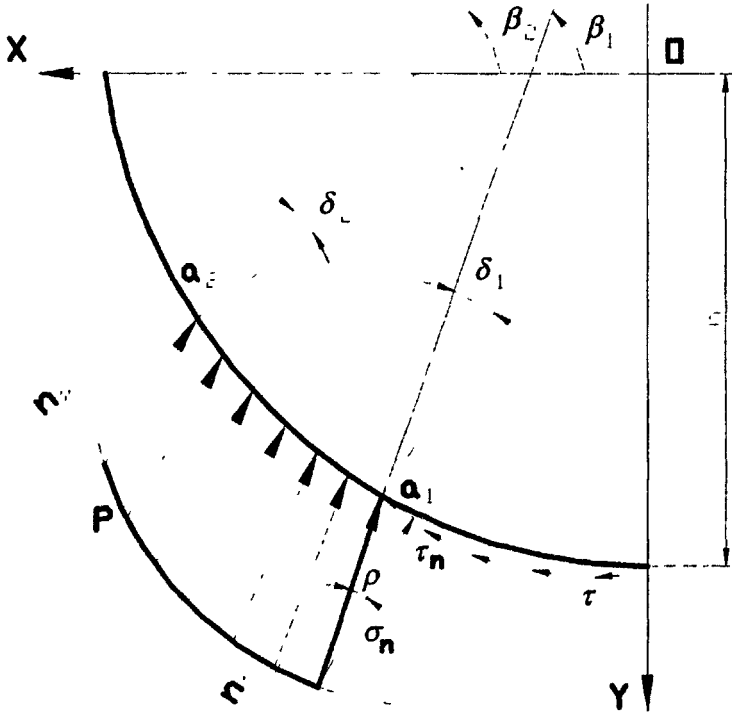


Рис.5

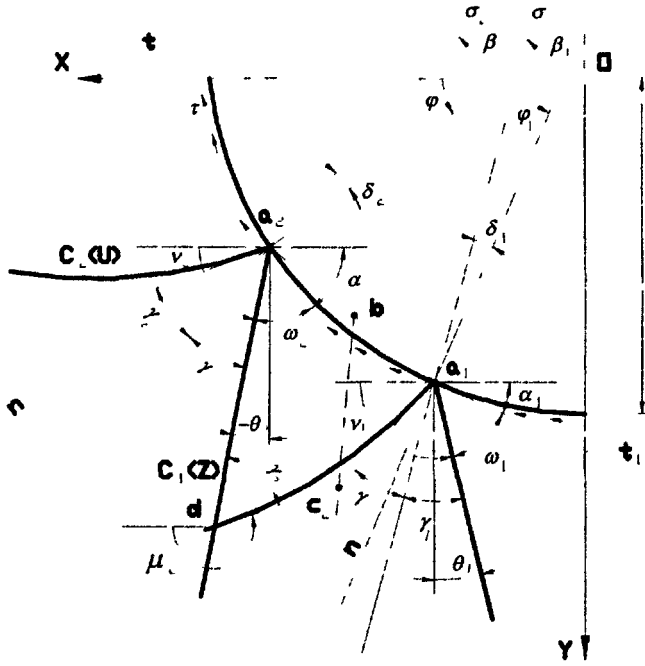


Рис. 6

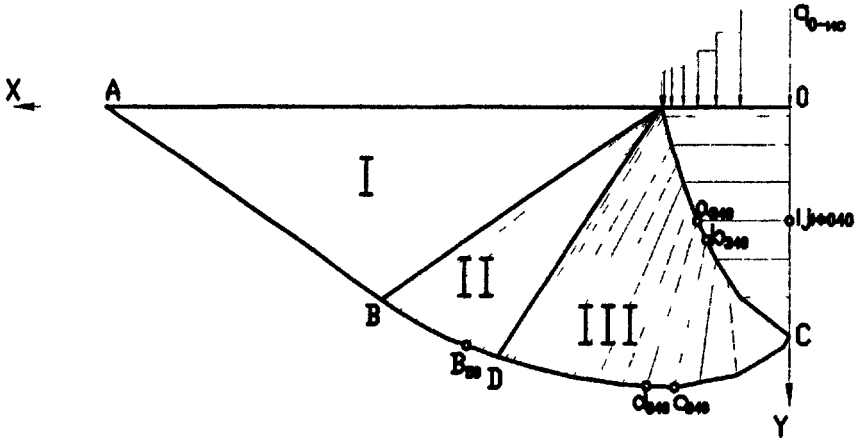


Рис. 7

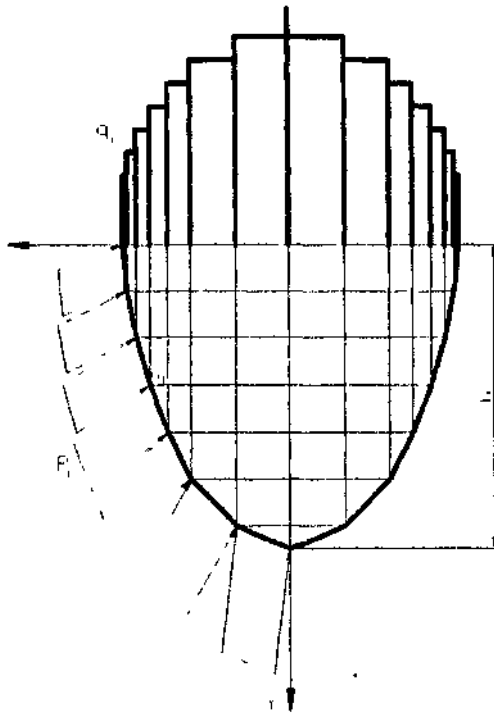


Рис.8

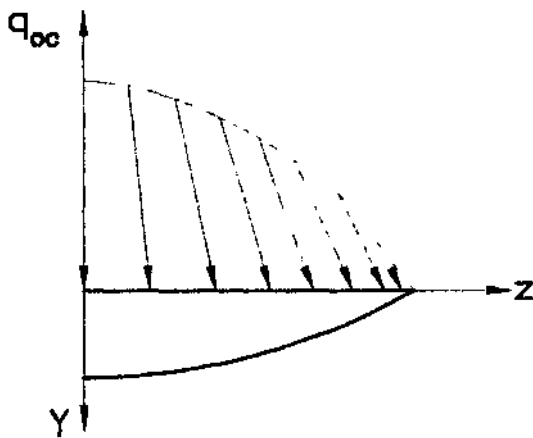


Рис.9

На основе данной численной методики составлен алгоритм расчета для разработки компьютерной программы.

Этому предшествуют: а) выбор аппроксимирующей кривой общей для любого произвольного профиля шарошки; б) разработка методики построения дискретной сетки для тела внедрения и областей ПНС. В алгоритме приведены вспомогательные формы перехода к объемному решению с введением равнодействующей активного давления при учете дополнительной силы вдоль третьей оси координат. В конце главы даны тестовые расчеты, которые показали, при каком размере шага дискретизации полученные погрешности не превосходят заданные.

В главе 4 приводятся основные данные по программе «DISC-2», разработанной на языке Borland, Delphi 7 в соответствии с ранее подготовленным алгоритмом решения задачи. Программа содержит 17 исходных данных, 16 основных и 4 массива дополнительных результатов, 8 графических построений и 16 опций по вспомогательным массивам внутренних расчетов. Все выходные данные выводятся на монитор, а также в виде файлов в Word, Excel, AutoCAD.

При работе программы, основанной на численном методе расчета, необходимо установить число шагов вычислений для получения заданной погрешности. Результаты таких вычислений приведены в тестовом расчете на рис. 10. Показаны три кривые для различных значений внедрения в забой $h=1; 1.5; 2$ см. Влияние h объясняется тем, что с заглублением убыстряется рост погрешности из-за увеличения габаритов внедряемого сегмента шарошки. Можно сделать вывод, что при числе шагов (числе дискретизации nDi) равном 20, погрешность дискретизации не превышает 4 %, а при 30 - не превышает 1.5 % и 40 - < 0.3 %. Программа позволяет проводить вычисления с $nDi \leq 60$ (этот предел ограничивается только мощностью компьютера).

Для проверки работы программы об адекватности полученных результатов реальным показателям работы щитов различных систем, размеров и т.д., а также в различных инженерно-геологических условиях, были осуществлены расчеты, приведенные в табл. 2. Проведенные поверочные расчеты (табл.2) показывают адекватность программы и натуре.

На основе программы (Приложение - 125 страниц и расчетов) построены графики (примеры на рис. 11, рис. 12, рис. 13) основных параметров роторного органа щита: усилие подачи P , кН; крутящий момент M , кНм и мощность роторного рабочего органа N , кВт.

Таблица 2

Сравнительные средние натурные показатели механизированных щитов и расчетные их значения по программе «DISC-2»

№ № п/ п	Наименование щита	Дщ, м	Натурные данные					Расчетные данные					Глубина реза- ния, h, см	Скорость резания, Q, м/ч
			Кэф. крепости f и прочн. на сжатие Rc, МПа	Уси- лие подачи P, кН	Крутя- щий момен т, М, кНм	Мощ- ность ротора N, кВт	Часто- та вра- щения n, об/мин	Прочн. на сжатие Rc, МПа	Уси- лие подачи P, кН	Крутя- щий момент, М, кНм	Мощ- ность ротора N, кВт	Часто- та враще- ния n, об/мин		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	ЦМР**	5.64	f=3.4 25-40	2000	1300	320	0.2-5 1.75	30	3380	1220	303	2.15	0.8	1.03
2	ММЦ-1	5.62	f=4-6 40-60	6000	2100	560	0.5-3 2.3	40	5510	2150	552	2.20	1.0	1.32
3	Ловат RMP 232SE (мини-метро)	5.87	f=3-4 25-35	27600*	2650 5350	940	3.4 1.7	38	9070	4820	925	1.65	1.9	1.88
4	Ловат RME 222SE (Челябинск)	5.64	f=4-8(10) 20-140	42000*	2190 4610	900	0.4-4 1.9	120	12740	4430	902	1.75	0.8	0.79
5	Херренкнехт (Москва, Лефортово)	14.16	f-3-5 30-50	30000*	18000 26000	3200	0-2.5 1.7 1.18	45	18200	19000	3201	1.45	1.2	1.04
6	Роббинс 233-172 (США, т. Баксин)	7.16	андезит, туф 70-280	12000	2150	1200	0-5.4	130	7200	2300	1210	5.00	0.3	0.81
7	Роббинс 212-173 (Н.Гемпшир)	6.43	гнейс, 140-280	9070	1840	480	0-2.5	140	6510	1800	482	2.30	0.26	0.36
8	Роббинс 262-166 (Франция, Альпы)	8.1	известняк, 14-42	7200	2120	900	0-4.0	30	4310	2110	884	3.60	0.7	1.51

Примечание: * - общее усилие щитовых домкратов;

** - следует увеличить усилие подачи (из-за установки шарошек вместо резцов)

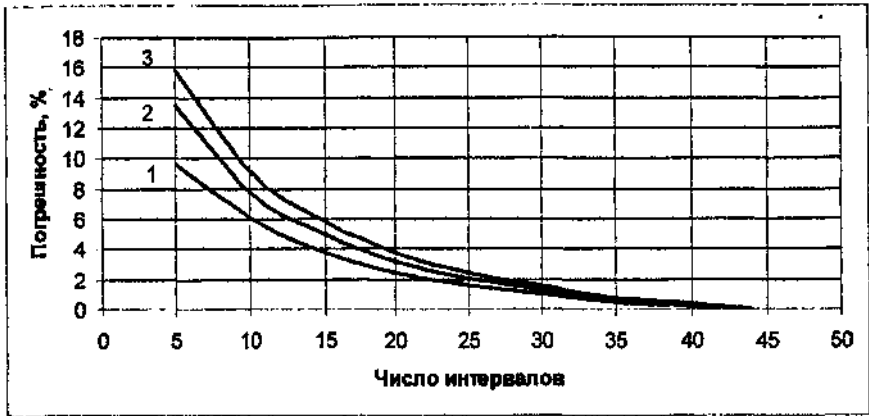


Рис.10



Рис. 11



Рис. 12



Рис. 13

Графики дают возможности установить в конкретных геотехнических условиях общие режимы механизированной разработки забоя, построить циклограммы проходки, выбрать эффективные типы проходческих роторных агрегатов, вооруженных шарошками. В главе также приводится методика статистического расчета параметров роторного щита с использованием данных по изменчивости свойств горных пород (в первую очередь - основного показателя: прочности на одноосное сжатие.)

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Проведенные исследования и полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Выполненный обзор и анализ современного состояния тоннелепроходческой щитовой техники показал значительные преимущества способа сооружения тоннелей с применением тоннелепроходческих механизированных агрегатов. Этот способ при высоких скоростях проходки достаточно успешно вытесняет буровзрывные работы.

2. Основной породоразрушающий инструмент, применяемый в скальных грунтах для тоннелепроходческих машин - дисковые шарошки, получил распространение также и в новом классе проходческих механизированных роторных щитов с активным пригрузом, обеспечивающих сооружение тоннелей в сложных инженерно-геологических условиях. Расчетами показана высокая эффективность шарошек с резовым инструментом.

3. Установлены основные виды взаимодействия дисковых шарошек с породной средой - кинематическое и силовое; неоднородность и изменчивость пород; их влияние на напряженное состояние и разрушение пород.

4. Выявлено на основе анализа теорий прочности предпочтительность критерия Мора - Кулона для процесса разрушения пород и теории Г. А. Гениева для аналитического описания этого процесса. Разработана методика и проведено обоснование указанной нелинейной теории предельного напряженного состояния по данным видных ученых В. В. Соколовского и М. М. Протодяконова.

5. Разработан численный метод и алгоритм решения задачи разрушения горных пород дисковой шарошкой произвольного поперечного профиля идентичного реальному с построением дискретной сетки. Проведенное тестовое испытание обеспечило выбор предельных отклонений параметров расчета для заданной точности.

6. Аналитическое решение и полученный алгоритм позволили разработать компьютерную программу «DISC-2» с графическими и файловыми интерфейсами. Установлены минимальные значения числа дискретизации, определяющие заданную погрешность. Сравнение натуральных показателей работы роторных щитов, оснащенных шарошечным инструментом, в различных условиях с вычисленными параметрами по программе «DISC-2» показало их адекватность.

7. Разработанная методика статистического анализа изменчивости физико-механических характеристик горных пород дает возможность предварительного учета вероятностных отклонений механических и технологических параметров тоннелепроходческих машин и агрегатов в пределах установленного уровня надежности.

8. Проведенный широкий круг исследований по имитационному моделированию выявил качественный и количественный характер влияния воздействующих факторов на основные механические параметры и технологические показатели работы тоннелепроходческих агрегатов, в том числе: усилие подачи ротора на забой P , кН; крутящий момент M , кНм и мощность роторного рабочего органа N , кВт; производительность по разработке породы Q_v , $m^3/ч$; скорость по проходке Q_L , м/ч; удельную энергоёмкость W , $кВт\cdotч/m^3$.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Демешко Е.А., Слюсаренко В.Е. Пространственная дискретная модель шарошки произвольного профиля в роторных проходческих щитах // Сб. трудов международной конференции «Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений». - Екатеринбург, 2004. С. 160-165.

2. Демешко Е.А., Слюсаренко В.Е. Анализ нелинейных уравнений огибающих предельных кругов Мора // Вестник МИИТа: Научно - технический журнал. - М.: МИИТ, 2004. - Вып.11. С. 69 - 75.

3. Слюсаренко В.Е. Влияние изменчивости параметров прочности горных пород на предельное напряженное состояние массива при механизированной щитовой проходке тоннелей // Вестник МИИТа: Научно - технический журнал. - М.: МИИТ, 2004. - Вып.11. С. 110 - 116.

Слюсаренко Валерий Евгеньевич

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РОТОРНЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ
ПРОХОДЧЕСКИХ ЩИТОВ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЧИВОСТИ СВОЙСТВ
ГОРНЫХ ПОРОД

специальность 05.23.11 - Проектирование и строительство
дорог, метрополитенов, аэродромов,
мостов и транспортных тоннелей

Подписано к печати 28.10.04. Формат 60x84/16.

Объем 1,5 п.л., Тираж 80. Заказ № 691

Типография Московского государственного университета путей сообщения
(МИИТ) 127994, ГСП-4 Москва, ул. Образцова 15.

1986