

МИНИСТЕРСТВО ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ СССР

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ ИНФОРМАЦИИ  
И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

ТЕХНОЛОГИЯ СООРУЖЕНИЯ  
ПОДЗЕМНЫХ ПОЛОСТЕЙ  
КАМУФЛЕТНЫМИ ВЗРЫВАМИ  
И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ  
ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

МОСКВА—1973

# ТЕХНОЛОГИЯ СООРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПОЛОСТЕЙ КАМУФЛЕТНЫМИ ВЗРЫВАМИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Н.А.Евстропов, В.И.Смирнов, И.М.Жиленко, В.М.Овчинников

## А н н о т а ц и я

В обзоре обобщен накопленный в СССР опыт по сооружению и использованию подземных емкостей, образуемых в пластичных горных породах. В нем рассмотрена только та освоенная техника, технология и экономика хранения нефтепродуктов в подземных полостях, сооружаемых методом камуфлетных взрывов, которая при определенных условиях может быть использована для хранения нефтепродуктов и захоронения промышленных отходов предприятий цветной металлургии и других производств.

Приведены метод расчета параметров буро-взрывных работ, требования к строительным площадкам и физико-механическим свойствам рабочих толщ пластичных пород, примеры создания подземных полостей для захоронения вредных промышленных отходов некоторых предприятий цветной металлургии.

Дается анализ практики захоронения вредных промышленных отходов в СССР и за рубежом, который положен в основу разработки нового метода подземного захоронения промышленных отходов.

Данный обзор будет способствовать распространению и внедрению подземных полостей, сооружаемых методом камуфлетных взрывов, для указанных и других нужд предприятий цветной металлургии.

Редактор института "Цветметинформация"

Г.М.Корнов

## В В Е Д Е Н И Е

Рост добычи нефти, природного и попутных газов, развитие производства нефтепродуктов, сжиженных углеводородных газов и продуктов химической промышленности вызывают необходимость создания крупных парков емкостей для хранения сезонных, оперативных, специальных и других запасов этих продуктов. Кроме того, на некоторых предприятиях имеется острая необходимость создания емкостей для захоронения промышленных отходов.

До настоящего времени в общем резервуарном парке страны преобладают наземные и заглубленные металлические резервуары, которые требуют значительных капиталовложений и большого количества металла. Поэтому разработка новых перспективных методов хранения газонефтепродуктов или захоронения вредных промпродуктов имеет важное народнохозяйственное значение.

В Советском Союзе имеются широкие геологические возможности строительства подземных полостей и уже накоплен определенный опыт в области строительства и эксплуатации подземных полостей в отложениях каменной соли, вечноммералов и других породах.

Наряду с этим в настоящее время интенсивно развивается новое перспективное направление — использование энергии взрыва для сооружения подземных полостей. Метод сооружения подземных полостей камуфлетными взрывами имеет существенные преимущества и выгодно отличается от известных способов строительства подземных и наземных хранилищ по ряду технико-экономических показателей: скорости образования, несложности строительства, малому расходу металла. К особым преимуществам таких полостей, не подлежащих экономическому общему, относятся их пожаро- и взрывобезопасность, естественная защита от массовых средств поражения и сокращение земельных участков, отводимых под строительство.

## ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

В основе способа образования подземных полостей методом камуфлетных взрывов лежит способность пластичных глинистых пород уплотняться и упрочняться под действием взрывных волн и давления газов, образующихся при подземных взрывах.

Уплотнение пластичных глинистых пород при подземном взрыве сопровождается пластическим течением и необратимыми деформациями, в результате которых в толще горных пород, окружающих камуфлетный заряд, образуется полость сфероидальной или эллипсоидальной формы.

Образование подземных полостей методом взрыва отличается от строительства подземных хранилищ, сооружаемых шахтным способом и методом выщелачивания в солях, тем, что подземные полости в уплотняющихся горных породах создаются мгновенно взрывом заряда ВВ.

Для изоляции подземной полости от вышележащих водоносных горизонтов и грунтовых вод применяется обсадка скважины металлическими трубами нефтяного сортамента с цементацией затрубного пространства расширяющимся составом.

В качестве камуфлетных зарядов при внутренних взрывах используются мощные водоустойчивые взрывчатые вещества при гидрозабойке зарядной камеры - полости и скважины до земной поверхности.

При создании подземных полостей методом взрыва наблюдается значительный сейсмический эффект, величиной которого обуславливается выбор расстояний до охраняемых наземных и подземных сооружений.

## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Опробование нового метода сооружения подземных хранилищ, основанного на использовании энергии камуфлетного заряда ВВ в толще глинистых пород, связано с необходимостью инженерно-геологических исследований, которые вызывают решение следующих вопросов:

разработку методики инженерно-геологических изысканий и проведение параметрических взрывов с целью получения исходных данных для проектирования и строительства подземных полостей методом камуфлетных взрывов;

выявление разновидностей глинистых пород и оценку степени их пригодности для создания подземных полостей;

изучение закономерностей изменения физико-механических свойств, структуры пород и остаточных деформаций в зоне действия подземного взрыва.

Степень пригодности пород оценивается по результатам непосредственного их опробования параметрическими взрывами и обследования состояния образованных полостей во времени с точки зрения длительной их устойчивости.

Наибольшее практическое значение для сооружения подземных хранилищ методом камуфлетных взрывов имеют мощные пластовые залежи глины и глинистых пород морского происхождения, залегающие горизонтально и выдержанные по мощности и однородного литолого-минералогического состава.

Практическое значение будут иметь также наиболее крупные и выдержанные в литологическом отношении толщи глины и суглинков континентального происхождения, хотя наличие каменистых, песчаных, органических и других включений, неоднородность сложения, слоистость и т.п. делают их менее благоприятными для образования подземных полостей.

Более молодые по возрасту (четвертичные, третичные и др.) глинистые породы в меньшей степени подвержены процессам литификации и поэтому отличаются в подавляющем большинстве случаев более благоприятными условиями для образования подземных полостей, чем, например, палеозойские породы.

Кроме того, более молодые по возрасту отложения залегают преимущественно в верхних частях осадочного чехла на доступных для освоения глубинах.

В процессе опробования различных разновидностей глинистых пород было установлено, что наиболее благоприятными для создания полостей являются преимущественно грунты средней степени уплотненности с показателем уплотненности, близким к единице. По своему физическому состоянию, характеризующему показателем консистенции, такие грунты (средние и тяжелые суглинки и легкие глины) имеют естественную влажность, близкую к влажности на пределе пластичности, и консистенцию в пределах от -0,5 до +0,5. Установлена непригодность переуплотненных пород с показателем уплотненности более 1,5-2,0 и сухих слабоувлажненных пород, характеризующихся показателем консистенции менее -0,5 + - 1,0.

Отрицательные результаты получали также в переувлажненных высокопластичных породах с естественной влажностью свыше 30% и характеризующихся положительными значениями показателя консистенции большим +0,5. Обычно в таких породах не удавалось образовать устойчивой полости вследствие ее быстрого заливания.

Отрицательные результаты наблюдались при взрывах в слоистых и неоднородных по литологическому составу породах.

Динамическая сжимаемость глинистых пород и способность их к пластическому уплотнению оценивается по показателю простреливаемости ( $P_{пр}$ ). Установлено, что породы типа кембрийской глины с низкими значениями показателя простреливаемости ( $P_{пр}$  менее 0,1 м<sup>3</sup>/кг) разрушаются при воздействии взрыва и приводят к образованию навалов раздробленной породы на дне полости.

#### ОБЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СООРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПОЛОСТЕЙ В ПЛАСТИЧНЫХ ПОРОДАХ СПОСОБОМ КАМУФЛЕТНЫХ ВЗРЫВОВ

Технология образования подземных полостей в пластичных горных породах способом камуфлетных взрывов состоит из нескольких производственных процессов, выполняемых в определенной последовательности.

Скважины рекомендуется бурить самоходными станками (УРБ-ЗАМ, АББ-2-100М, АББ-400, УРБ-2А, УНБ-16, УНБ-15 и др.), имеющим оборудование для цементации затрубного пространства.

Исходя из условий последующего использования подземных полостей, скважины целесообразно бурить с начальным диаметром 350-400 мм до глубины обсадки; обсадку необходимо производить нетапливаемыми трубами нефтяного сортамента диаметром соответственно 10" - 12".

Цементация затрубного пространства скважин осуществляется расширяющимся составом. Композиция расширяющегося состава и его основные свойства приведены в табл. I.

После затвердевания цементного состава производится разбуривание цементной пробки и добуривание скважины с конечным диаметром 200-250 мм до проектной глубины заложения заряда.

Обсадка скважины трубами и цементация затрубного пространства необходимы для изоляции подземной полости от выходящих водоносных пропластков и горизонтов, а также для обеспечения герметичности полости и возможности ее последующей эксплуатации.

Скважина считается подготовленной к производству взрывных работ, если она очищена от бурового шлама и густого глинистого раствора, имеет проектную глубину и диаметр, в нее не поступает

Т а б л и ц а I

Оптимальный состав и характеристика состава  
для цементации затрубного пространства взрывных скважин

Состав раствора	Рас- шив, мм	Сроки схваты- вания, час		Предел прочно- сти на изгиб, кг/см <sup>2</sup>		Водопроницае- мость, дарси
		нача- ло	конец	2 су- ток	28 су- ток	
Тампонажный цемент (85%) ГОСТ 1581-42, расширяющий компо- нент (15%)	160	4-30	7-48	21,8 28,5 36,3	29,5 50,6 41,0 70,4	2,2·10 <sup>-8</sup>
Тампонаж (87%), глиноземистый цемент (13%)	150	0-52	3-30	29,5 31,1 77,3	34,8 50,0	

П р и м е ч а н и е. Состав расширяющего компонента по ве-  
су, %: глиноземистый цемент - 44, шлак гранулированный - 30, гипс  
полупрозрачный - 20, известь пушонка - 6.

павне вода, имеет искривление от вертикали не более 1-2°; каче-  
ственно выполнена цементация затрубного пространства.

Для создания зарядной камеры необходимого объема произво-  
дят, как правило, две прострелки зарядами ВВ, возрастающими по  
весу. При этом взрывом гидрозабойка полностью выбрасывается на  
поверхность земли. Загрузка ВВ в скважину для основного взрыва  
производится в следующей последовательности. Вначале засыпают  
1/2 часть от полного заряда ВВ и опускают первый боевик, затем  
загружают 1/4 часть заряда ВВ, опускают второй боевик и загружа-  
ют оставшуюся часть ВВ. Взрывчатое вещество в скважину засыпают  
постепенно, опуская новые порции ВВ через определенные интерва-  
лы времени, давая предыдущим осесть на дно зарядной камеры.

По окончании заряжания производят монтаж, проверку электро-  
взрывной сети и взрыв, в результате которого образуется  
подземная полость.

Объем подземных полостей, образованных взрывом, может быть  
измерен с известной степенью точности путем залива определенного  
количества продукта, подлежащего хранению, или по величине углуб-  
ления дна полостей после взрыва.

Ориентировочно можно считать объем каждой залитой порции

продукта в емкости по формуле прямого кругового цилиндра или ша-  
рового сегмента.

Наиболее точное измерение и осмотр подземных полостей мо-  
гут быть произведены с помощью телевизионной установки конструк-  
ции Ленинградского электротехнического института связи (ЛЭИС)  
им. Бонч-Бруевича и оптической установки САУ-1Д, разработанной Се-  
веро-Западным политехническим институтом (СЗПИ) при участии ВНИИ-  
промгаза.

С помощью телевизионной установки можно производить визу-  
альное (телевизионное) наблюдение и непосредственное фотографиро-  
вание внутренней поверхности подземной полости.

Телевизионная установка также может быть применена для из-  
мерения подземной полости путем документальной регистрации формы  
и пространственной ориентации контуров горизонтальных сечений.

#### Технические данные телеустановки

Пределы измерения расстояний, м . . . . .	2-10
Точность измерения, % . . . . .	± 5
Питание . . . . .	Переменный ток
Напряжение, в . . . . .	220
Частота, гц . . . . .	50
Потребляемая мощность, кВт . . . . .	1,5
Диаметр подземной части установки, мм . . . .	192
Вес подземной части установки, кг . . . . .	120

Телевизионная установка позволяет производить круговой об-  
зор отенок полости в угле 6°; киносъемку с углом зрения 20° при  
скорости съемки 16 кадров в секунду; азимутальную ориентацию от-  
носительно сторон света при помощи гидроустройства.

Светооптическая автоматическая дальномерная установка диа-  
кретного действия САУ-1Д предназначена для выполнения съемки по-  
лярным способом поперечных сечений подземных полостей размерами  
в горизонтальном сечении до 12 м до глубины 50 м и дистанционным  
измерением дирекционных углов при помощи штатного поворотного  
устройства.

#### Технические данные САУ-1Д

Пределы измерения расстояния, м . . . . .	0,8-6
Точность измерения расстояния, %:	
в пределах от 0,8 до 3 м . . . . .	± 1
в пределах от 3 м до 6 м . . . . .	± 3
Пределы измерения дирекционных углов, град.	360
Точность измерения дирекционных уг- лов, град. . . . .	± 8

Питание . . . . .	Переменный ток
Напряжение, в . . . . .	127
Частота, гц . . . . .	50
Потребляемая мощность, в. . . . .	100
Лампа осветителя датчика СМП-12 мощность, вт . . . . .	10
Габаритные размеры, мм:	
дальномера . . . . .	180x1000
самописца ЭПП-09 . . . . .	500x500x380
пульта управления . . . . .	200x230x300
Вес, кг:	
дальномера . . . . .	30
самописца ЭПП-09 . . . . .	25
пульта управления . . . . .	4

#### ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Работы по сооружению подземных хранилищ методом взрыва следует организовать так, чтобы все операции выполнялись в возможно короткие сроки, в строго определенной последовательности, в соответствии с проектом, техническими условиями и действующими технологическими правилами.

Последовательность производства работ при строительстве подземных хранилищ методом взрыва следующая.

1. Перед началом работ по строительству необходимо по данным инженерно-геологических изысканий изучить геологические условия разреза площадки, территорию строительной площадки и прилегающей зоны, выяснить наличие и состояние подъездных путей и дорог, возможные места появления посторонних лиц в пределах опасной зоны во время производства взрывных работ, наличие воздушных линий электропередач (ЛЭП), подземных сооружений и коммуникаций. На основании полученных данных в случае надобности производят дорожные и планировочные работы.

2. После того, как строительная площадка подготовлена, завозят материалы, буровое и другое оборудование, передвижные жилые вагоны, возводят помещения для бытовых и производственных нужд строительства.

3. Сроки производства буровых и взрывных работ должны быть увязаны со временем получения разрешения на доставку взрывчатых материалов (ВМ) с пункта их получения. При производстве работ по бурению и взрыванию необходимо предусмотреть бесперебойное снаб-

жение водой. После окончания бурения и обсадки скважин приступают к производству взрывных работ, при этом буровой станок должен быть на строительной площадке на случай ликвидации породных пробок.

4. Перед началом взрывных работ граница опасной зоны отмечается на местности предупредительными знаками, намечаются посты охраны опасной зоны во время взрыва, место временного хранения ВМ и подготовки средств взрывания (СВ). Взрывные работы ведутся в полном соответствии с утвержденным проектом и согласно "Единым правилам безопасности при взрывных работах" (М., изд-во "Недра", 1968 г.).

5.<sup>х)</sup> К моменту окончания взрывных работ должно быть подготовлено технологическое оборудование хранилища (насосы, арматура, трубопроводы и др.). После проведения взрывов все подземные емкости должны быть проветрены от остатков ядовитых и горючих газов, после чего на площадке производят земляные и монтажные работы.

Сварочно-монтажные работы выполняют на специальных подмостках, где подготавливают насосное оборудование, сваривают трубы в секции, производят монтаж оголовков скважин. Сваренные секции труб раскладывают, а насосы опускают в емкости. После сварки стыков трубопроводы подвергают гидравлической опрессовке, в случае заглубления их засыпают, после чего производят заливку хранимого продукта и пробную его перекачку.

После завершения работ по сооружению подземных хранилищ временные сооружения разбирают. Перед заливкой продукта территорию хранилища ограждают и устанавливают предупредительные знаки.

#### ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ПОЛОСТЕЙ

При образовании подземных полостей способом камуфлетных взрывов применяют сосредоточенные заряды водоустойчивых взрывчатых веществ (тротил прессованный и гранулированный, аммониты, некондиционные пироксилиновые пороха), которые тонут в воде и хорошо в ней детонируют. Взрывание зарядов производят электричес-

х) Работы по п.5 выполняют при сооружении подземных полостей для хранения нефтепродуктов.

ким способом с применением водостойких электродетонаторов мгновенного и короткозамедленного действия.

Наиболее целесообразно в экономическом и техническом отношении в качестве взрывчатых веществ использовать отходы мелкозернистых пироксилиновых порохов различных марок. Они отвечают всем требованиям, которые предъявляются к взрывчатым веществам, применяемым для образования подземных полостей в пластичных горных породах: невысокая бризантность, большая работоспособность, удобство в технологическом применении, состоящее в том, что пироксилиновые пороха имеют большой удельный вес, хорошо детонируют и тонут в воде, просты и безопасны в обращении. Для детонации отходов пироксилиновых порохов необходимо использовать промежуточный заряд (вес боевиков) по величине не меньше 12% от веса основного заряда.

Поскольку отходы пироксилиновых порохов отпускаются для использования в промышленности и строительстве только с возмещением стоимости транспортных перевозок, то их применение при производстве взрывных работ для образования подземных полостей позволяет получить значительную экономию средств.

При отсутствии отходов пироксилиновых порохов на местах производства взрывных работ необходимо использовать другие типы ВВ, также эффективные для образования подземных полостей, например, аммонит № 6 ЛВ.

Применение кондиционных мелкозернистых пироксилиновых порохов становится малоэффективным вследствие их высокой отпускной стоимости.

При создании подземных полостей методом взрыва накоплен значительный опыт использования прессованного тротила в виде машек, гранулированного тротила, водостойчивого аммонита, шнекованного аммонита В-3 и т.п.

Машки или гранулы тротила хорошо тонут в воде под действием собственного веса, произвольно принимая сосредоточенную форму заряда на дне зарядной камеры.

Для производства взрывных работ при образовании полостей можно также рекомендовать гранулированный алюмотол, львиный смес. Эти составы также хорошо тонут и детонируют в воде (табл.2).

Гранулированные тротил и алюмотол широко опробованы в горной промышленности при зарядании обводненных скважин на открытых разработках. Эти ВВ имеют хорошую сыпучесть, удобны для ручного и механизированного зарядания, не пылят, не слеживаются, легко тонут в воде и надежно детонируют в ней при инициировании от промежуточного детонатора - машки прессованного тротила.

Т а б л и ц а 2

Характеристика ВВ, рекомендуемы для взрывных работ при образовании полостей

Наименование ВВ	Краткая характеристика и состав ВВ	Критический диаметр отрыва того заряда, мм	Насыщенная плотность, г/см <sup>3</sup>	Работоспособность, ВВ, см	Обжатие цилиндрических при испытании в стальных кольцах, мм	Скорость детонации в воде, м/сек	Теплота взрыва, вода, пар, ккал/кг	Действующая цена на 1970г., руб/т
Тротил гранулированный (гранулотол)	Плавленый тротил в виде гранул diam. 2-5 мм	5-10 <sup>1)</sup> 60-80 <sup>2)</sup>	1,0	285-295	32-34 <sup>1)</sup>	6000-6700	995	345
Алюмотол гранулированный	Сплав тротила с алюминиевым порошком в виде гранул диаметром 2-5 мм	5-10 <sup>1)</sup> 60-80 <sup>2)</sup>	1,1	420-440	30 <sup>1)</sup>	6000-6500	1340	536
Зерногранулит 79/21	Гранулированная селитра с чешуеватым тротилом	50-60	0,9-1,0	360-370	20-25	3000-3600	967	167
Зерногранулит 50/50-В	Гранулы аммиачной селитры, покрытые пленкой из тротила	40-50 <sup>2)</sup>	0,7-0,95 <sup>2)</sup> 1,3-1,376 <sup>1)</sup>	340-350	23-25 <sup>2)</sup> 28-30 <sup>1)</sup>	5500	980	270
Зерногранулит 30/70	То же в процентном соотношении 30:70	40-60	1,1	330-340	24-27	6000	990	330

Продолжение табл.2

Наименование ВВ	Краткая характеристика и состав ВВ	Критический диаметр отрыва заряда, мм	Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	Работоспособность ВВ, см <sup>3</sup>	Обжатие свинцового цилиндрика при испытании в стальных кольцах, мм	Скорость детонации в воде, м/сек	Теплота взрыва, вода-пар, ккал/кг	Действующая цена на 1970г., руб/т
Акватор МГ	Льмееея водонаполненное ВВ, смесь гранулированной селитры с алюмотолом и загустителем	100-120	1,40-1,45 <sup>1)</sup>	400-430	28-30	4900-5300	1105	400 <sup>2)</sup>
Аммонит № 6 ВВ	Порошкообразный	10-13	0,9-1,0	360-380	25-28	3600-4800	1030	180

1) Водонаполненный.

2) Сухой.

3) Цена временная.

# НЕКОТОРЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОСНОВНЫХ МЕР ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

I. При сооружении подземных полостей методом камуфлетных взрывов разрешается применять взрывчатые вещества и средства взрывания, на которые имеются ГОСТ или утвержденные технические условия (ТУ), а также журнальные постановления Госгортехнадзора РСФСР.

2. В скважинах глубиной до 25 м можно применять боевики, изготовленные в мягкой герметичной оболочке, на больших глубинах использовать герметичные жесткие оболочки, рассчитанные на давление водяного столба забойки.

3. В качестве забоечного материала при производстве взрывных работ (предварительных прострелках и основном взрыве) служит вода. При использовании пироксилиновых порохов вода заливается в котлы и скважины перед загрузкой ВВ.

4. Запрещается проведение прострелочных работ в скважинах без предварительной проверки скважины шаблоном. Диаметр шаблона должен быть на 25 мм менее минимального диаметра прострелочных скважин.

5. Количество и вес боевиков для инициирования основных зарядов устанавливается расчетом, но во всех случаях число боевиков должно быть не менее двух.

6. При использовании пироксилиновых порохов взрывание основного заряда допускается через 30 мин после окончания загрузки взрывчатым веществом скважины.

7. Размещение основного заряда в полости, полученной в результате предварительных прострелок, производится в следующем порядке:

- а) загружается 1/2 часть веса заряда ВВ;
- б) опускается первый боевик;
- в) загружается 1/4 часть веса заряда ВВ;
- г) опускается второй боевик и загружается оставшаяся часть заряда ВВ.

8. При производстве взрывных работ при образовании емкостей целесообразно применять преимущественно электрический способ взрывания.

9. Для электровзрывания в скважинах глубиной более 25 м разрешается применять только двухжильный кабель в резиновой оплетке.

10. В каждый боевик необходимо помещать 2 электродетонатора, соединенных между собой параллельно.

II. Снаряжение боевиков разрешается производить на месте



работ на расстоянии не ближе 50 м от скважины в специально отведенном для этого помещении или под навесом.

12. Если при зарядании боевик не проходит по скважине, разрешается его осторожно поднять на поверхность, а скважину проверить шаблоном.

После проверки и прочистки скважины боевик может быть вновь опущен в скважину. Перед вторичным опусканием боевика в скважину необходимо его осмотреть и проверить на проводимость электросети. Если застрявший боевик извлечь из скважины не удастся, его необходимо уничтожить взрывом.

13. Отказавшие боевики ликвидируются дополнительно опущенным боевиком.

14. При производстве взрывов на глубинах более 25 м боевики в жестких оболочках должны опускаться воротком или механической лебедкой. Для спуска боевиков необходимо применять стальной трос или пеньковую веревку.

15. Трос или веревка для спуска боевиков в скважины должны быть тарированы.

16. Кабель от боевиков нельзя привязывать к тросу или веревке, на которых боевик опускается в скважину.

17. Диаметр боевика должен быть меньше минимального диаметра скважины на 50 мм.

18. После простреливания скважины новое зарядание разрешается не ранее чем через 15 мин при работе с ВВ 2-ой группы и не ранее чем через 30 мин при работе с другими ВВ.

19. Подвешенные к скважине ВМ должны храниться в специально отведенном месте на расстоянии не ближе 50 м от ее устья.

20. На случай прекращения работ (из-за грозы) в районе скважины при отсутствии естественных углублений должны быть заблаговременно подготовлены ямы глубиной не менее 1 м на безопасном расстоянии от скважины для хранения боевиков.

21. В случае приближения грозы во время производства прострелочных работ на скважине:

а) находящиеся на поверхности ВМ необходимо отвести от скважины и уложить в заранее подготовленное место;

б) в случае загрузки проектного количества ВВ боевики, опускаемые в скважину, должны быть доведены до заданной глубины и взорваны или оставлены в обсаженной части скважины до прекращения грозы.

Дальнейшие работы до окончания грозы должны быть прекращены и люди отведены на безопасное расстояние.

22. Уничтожение взрывчатых материалов, отказавших боевиков в жестких оболочках производится в соответствии с "Едиными прави-

лами безопасности при взрывных работах" (М., изд-во "Недра", 1968 г.).

23. Опасная зона для людей при производстве взрывов для образования подземных емкостей определяется расчетом, но во всех случаях устанавливается не менее 200 м.

24. После производства взрыва подходить к устью скважины разрешается не ранее чем через 30 мин.

25. В остальном при производстве взрывных работ для образования подземных емкостей в пластичных горных породах необходимо руководствоваться "Едиными правилами безопасности при взрывных работах" (М., "Недра", 1968 г.).

#### РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КАМУФЛЕТНЫХ ВЗРЫВОВ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ПОЛОСТЕЙ

Расчет параметров внутренних взрывов рекомендуется производить в следующей последовательности<sup>х)</sup>, изучив предварительно геологический разрез площадки.

1. При незначительной мощности толщи глинистых пород принимается глубина скважины:

$$H_{\text{скв}} = \frac{m}{2} + H_n, \quad (1)$$

где  $H_{\text{скв}}$  - глубина скважины, м;

$m$  - мощность толщи глинистых пород, м;

$H_n$  - мощность наносов, покрывающих толщу глинистых пород, м.

Минимальная мощность толщи глинистых пород ( $m$ ), необходимая для размещения в ней подземной полости сфероидальной формы, должна удовлетворять условию

$$m \geq 6R, \quad (2)$$

где  $R$  - радиус подземной полости, м.

2. В зависимости от габаритов принимаемого наосного оборудования выбирается диаметр обсадной колонны и необходимый диаметр бурового инструмента. В случае, если способ бурения и диаметр инструмента заранее предусмотрены другими соображениями, диаметр обсадки скважины рекомендуется принимать не менее 200 мм (8").

<sup>х)</sup> Расчет параметров взрывания при создании подземных полостей следует делать с учетом геологических особенностей строительной площадки и выбранной технологии производства работ.

сетке, при этом расстояние между скважинами (или центрами емкостей в плане) принимается равным:

$$a \geq (7 + 8) R_n = (1,0 + 1,2) W, \quad (10)$$

где  $a$  - расстояние между скважинами (полостями), м;

$R_n, W$  - соответственно радиус и глубина заложения полости, м.

II. Хранилище, состоящее из нескольких подземных полостей, может быть создано как последовательным раздельным взрыванием одиночных зарядов, так и путем одновременного взрывания серии зарядов с применением мгновенного или короткозамедленного взрывания.

Короткозамедленное взрывание зарядов используется для снижения сейсмического эффекта взрывов. Короткозамедленное взрывание рекомендуется производить электродетонаторами ЭД-КЗ с временем замедления от 10 до 250 мсек в зависимости от объема образуемых емкостей.

Чтобы исключить влияние последующих взрывов на уже образованную предыдущим взрывом подземную полость при короткозамедленном режиме взрывания, время образования полости ( $T$ ) должно быть большим или равным сумме замедлений взрывающихся зарядов

$$T \geq \sum_{i=1}^n t_{зам}. \quad (11)$$

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НАЗЕМНЫЕ И ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ ПОЛОСТЕЙ МЕТОДОМ КАМУФЛЕТНЫХ ВЗРЫВОВ

Особенностью внутренних взрывов, используемых при сооружении подземных полостей в пластичных грунтах, является большая глубина заложения заряда, обуславливаемая необходимостью сохранения над полостью устойчивой структуры грунта.

В практике проведения взрывов расстояние, безопасное для сооружения при действии сейсмической волны, возникающей в грунте от взрыва сосредоточенного заряда, рассчитывают по формуле М.А.Садовского<sup>х)</sup>

$$R_c = \kappa_c \cdot \alpha \cdot \sqrt[3]{q}, \quad (12)$$

где  $R_c$  - расстояние от места взрыва, м;

х) См. "Единые правила безопасности при взрывных работах". М., "Недра". 1968.

$\kappa_c$  - коэффициент, величина которого зависит от свойств грунта в основании охраняемых сооружений; значения этого коэффициента для различных грунтов колеблются от 3 до 20, в частности, для глинистых грунтов он равен 9;

$\alpha$  - коэффициент действия взрыва; при камуфлетном взрыве равен 1,2;

$Q$  - величина заряда ВВ, кг.

Опыт проведения внутренних взрывов показывает, что формула (12) дает завышенные величины безопасных расстояний.

Известная формула М.А.Садовского, по которой для всех случаев взрывных работ в строительстве и горной промышленности производятся расчеты сейсмобезопасных расстояний, не может быть применена для оценки сейсмического эффекта полного камуфлетного взрыва в пластичных породах, поскольку при ее выводе не исследовались специфические условия производства внутренних взрывов.

Возбуждаемые взрывом объемные и поверхностные волны имеют различные законы затухания с расстоянием.

Сферические объемные волны распространяются от взрыва во всей толще грунта, поверхностная волна распространяется в относительно тонком слое грунта и вследствие этого затухает с расстоянием слабее, чем объемные волны.

В количественном отношении сейсмический эффект взрывов характеризуется величиной максимальной колебательной скорости  $U$  (см/сек).

Колебательная скорость выбрана для оценки интенсивности колебаний грунта и оценки их вредности для подземных и наземных сооружений, так как она менее всего зависит от свойств грунта, ее величине пропорциональны напряжения, возникающие в грунте и сооружениях при прохождении упругих волн. Квадрату амплитуды колебательной скорости пропорциональна энергия волн, действующих на фундаменты наземных сооружений.

При дальнейшем изложении будем пользоваться следующими обозначениями:

- $q$  - вес заряда ВВ, кг;
- $h$  - глубина заложения заряда ВВ, м;
- $\bar{h} = \frac{h}{\sqrt[3]{q}}$  - приведенная глубина заложения заряда, ВВ, м/кг<sup>1/3</sup>;
- $r, r_c$  - расстояние от места взрыва, м;
- $\bar{r} = \frac{r}{\sqrt[3]{q}}$  - приведенное эпицентральное расстояние, м/кг<sup>1/3</sup>;

$z_{гип} = \sqrt{h^2 + l^2}$  - гипоцентральное расстояние, м;

$U_p^z$  - вертикальная составляющая скорости колебания частиц грунта в объемной волне, см/сек;

$U_p^x$  - горизонтальная - радиальная составляющая скорости колебания частиц грунта в объемной волне, см/сек;

$U_p = \sqrt{(U_p^z)^2 + (U_p^x)^2}$  - вектор колебательной скорости в объемной волне, см/сек;

$U_R^z$  - вертикальная составляющая колебательной скорости частиц в поверхностной волне, см/сек;

$\bar{U}_{дон}$  - допустимые значения колебательной скорости, различные для разных типов зданий и сооружений, см/сек;

$K_1, K_2$  - коэффициенты, зависящие от свойств грунта. Для глинистых пород  $K_1 = 15$ ,  $K_2 = 35$ ,  $K_3 = 20$ .

На приведенных расстояниях  $\frac{z_{гип}}{\sqrt[3]{q}} < 15-20$  максимальные колебательные скорости наблюдаются в объемных волнах, и их зависимость от веса, глубины заложения заряда и расстояния имеет вид

$$U_p = 500 \bar{h} \left( \frac{\sqrt[3]{q}}{z_{гип}} \right)^{2,20} \quad (I3)$$

На расстояниях  $z > 20$  максимум колебательной энергии переносится поверхностными волнами; для приведенных глубин  $\bar{h} < 5$  колебательная скорость мало зависит от глубины заложения заряда и определяется так:

$$U_R^z = 100 \left( \frac{\sqrt[3]{q}}{z} \right)^{1,30} \quad (I4)^x$$

При взрывах на приведенных глубинах  $\bar{h} > 5$  наблюдается снижение сейсмического эффекта на поверхности в 1,5-2 раза.

При учете воздействия взрыва на подземные сооружения большее значение приобретает затухание параметров колебаний грунта с глубиной. Можно считать, что скорости и амплитуды перемещения на глубине  $\bar{h} \geq 5$  м в 2 раза меньше, чем на поверхности на том же расстоянии от взрыва, т.е.

$$U_{злчб} = \frac{\bar{U}_{пов}}{2} \quad (I5)$$

<sup>x)</sup> Приведенные зависимости (I3) и (I4) получены для взрывов зарядов аммонита № 6 ЖВ в толще моренных суглинков.

Сейсмический эффект взрывов определяется физико-механическими свойствами среды, в которой происходит взрыв.

Изменение грунтовых условий в большей степени сказывается на колебаниях грунта в поверхностной волне.

Сравнение взрывов, проведенных в глине, суглинке и лессе, показало, что колебательные скорости в поверхностной волне больше для взрывов в глине в 2 раза, чем в суглинке, и в 4 раза, чем в лессе.

Колебательные скорости в поверхностной волне зависят от типа ВВ. При использовании в качестве ВВ чешуйчатого тротила колебательная скорость  $U_R^z$  меньше в 1,4 раза, чем для пирооксилинового пороха, и в 1,6 раза, чем для аммонита № 6 ЖВ.

Сейсмобезопасные расстояния при взрывах сосредоточенных зарядов до  $\bar{z} \approx 15 + 20$  следует оценивать по объемной волне и расчет производить по формуле:

$$z_c = \frac{K_1(\bar{h})^{0,45}}{U_{дон}^{0,45}} \cdot \sqrt[3]{q} \quad (I6)$$

Для  $\bar{z} > 20$  и  $\bar{h} \leq 5$  сейсмобезопасные расстояния следует оценивать по поверхностной волне и расчет производить по формуле:

$$z_c = \frac{K_2}{U_{дон}^{0,77}} \cdot \sqrt[3]{q} \quad (I7)$$

Для  $\bar{h} > 5$  расчет сейсмобезопасных расстояний следует производить по формуле

$$z_c = \frac{K_3}{U_{дон}^{0,77}} \cdot \sqrt[3]{q} \quad (I8)$$

Определение сейсмобезопасных расстояний при сооружении подземных полостей в толще моренных суглинков и использовании в качестве ВВ аммонита № 6 ЖВ может быть выполнено с помощью табл.3. В ней для ряда весов зарядов ВВ (от 200 до 5000 кг), различных значений допустимых колебательных скоростей (от 15 до 3 см/сек) и двух наиболее распространенных при сооружении подземных полостей методом намуфлетных взрывов приведенных глубин заложения зарядов ( $\bar{h} = 2,7$  и  $\bar{h} = 3,2$ ) даны значения сейсмобезопасных расстояний ( $z_c$ ).

При взрыве рассредоточенных зарядов в формулах (I6) и (I8) под весом ВВ подразумевается полный вес одновременно взрывающегося ВВ только в тех случаях, когда расстояния от отдельных зарядов

Таблица 3

Сейсмобезопасные расстояния для зарядов различного веса при двух значениях приведенной глубины их заложения

Вес заряда $q$ , кг	Сейсмобезопасные расстояния $r_{с,м}$ при $U_{доп}$ , см/сек			
	15	10	5	3
$\bar{h} = 2,7$				
200	40	48	66	87
400	50	61	83	110
600	58	69	95	126
800	64	77	104	140
1000	69	82	112	150
1500	78	94	130	170
2000	87	105	142	190
2500	98	112	153	205
3000	100	118	162	215
4000	110	130	180	240
5000	117	141	192	255
$\bar{h} = 3,2$				
200	45	55	70	89
400	55	65	90	113
600	65	75	101	128
800	70	85	115	142
1000	75	90	125	153
1500	85	101	140	175
2000	95	115	155	195
2500	100	121	165	210
3000	110	130	175	220
4000	120	141	191	242
5000	130	155	210	261

до охраняемого объекта различаются по величине не более чем на 10%.

При большем различии в расстояниях определение безопасного расстояния производится по формуле (16) и (18), но вместо  $q$  следует подставить  $q_3$

$$q_3 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{r_m}{r_i} \right)^3 q_i = r_m^3 \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i^3}, \quad (19)^*$$

где  $r_m$  - сейсмобезопасное расстояние, рассчитанное по действию заряда  $q_m$ , расположенного наиболее близко к охраняемому участку;

$q_i$  - вес  $i$ -ого заряда в группе;

$r_i$  - расстояние, измеренное по плану участка взрыва, от места расположения  $i$ -ого заряда группы до точки пересечения границы сейсмически опасной зоны единичного заряда  $q_m$  с направлением на охраняемый участок;

$n$  - число зарядов в группе.

Определенное из формулы (19) значение  $q_3$  следует подставить в формулу (16), тем самым будет определен в первом приближении радиус сейсмически опасной зоны  $r_c$ .

Величина  $r_c$  определит новую отсчетную точку  $O^I$ , для которой измеряются расстояния  $r_i^I$  до каждого заряда и находится новое значение  $q_3^I$  и новый радиус сейсмически опасной зоны  $r_c^I$ .

Расстояния, определяющие границу сейсмически опасной зоны группы зарядов, быстро отряхнутся к постоянной величине, поэтому достаточно двух-трехкратного повторения расчета по формулам (16) и (18).

Если же достаточно проверить, попадают ли охраняемые объекты в сейсмически опасную зону, то критерий безопасности имеет вид

$$K^3 \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i^3} < 1, \quad (20)$$

где  $K$  - коэффициент в формуле (16)  $K = K_1 \cdot \frac{\bar{h} 0,45}{U_{доп} 0,45}$ .

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД В ЗОНЕ КАМУФЛЕТНОГО ВЗРЫВА

Известно, что камуфлетный взрыв заряда взрывчатого вещества в пластичной породе изменяет ее первоначальные физико-механические свойства и приводит к образованию качественно иного мате-

\*) При применении короткозамедленного взрывания с интервалами замедлений от 5 до 50 мсек расчет сейсмобезопасного расстояния следует производить как и для одновременного взрыва распределенного заряда.

риала с повышенными механическими свойствами в зоне уплотнения. Изменение этих свойств происходит в результате необратимых деформаций сжатия среды, что приводит к увеличению плотности, а следовательно, и усилению механических связей между отдельными частицами грунта в определенном пространстве вокруг создаваемой полости. Кроме того, в результате воздействия взрыва наблюдаются структурно-текстурные изменения в пластичной породе, что также влечет за собой изменение механических свойств грунта.

Исследования проводили в различных глинистых разновидностях как в натурных условиях, так и на моделях грунта (монолитах). С этой целью отбирались образцы путем вскрытия полостей шурфами и сбоями, бурения вертикальных скважин с отбором монолитов из зоны уплотнения, а также путем вскрытия моделирующих полостей неглубокого заложения с помощью траншей. В ряде случаев состояние породного массива вокруг полости оценивалось путем проведения микропенетрации.

Рассмотрим результаты исследований по отдельным разновидностям глинистых пород.

Наибольший интерес представляют скифские глины, где в идентичных условиях на глубине 25-28 м были созданы 34 опытные полости объемом 130-160 м<sup>3</sup>.

Скифские глины красно-бурого и желто-бурого цвета представлены тяжелыми суглинками, переходящими в глинистые разности с большим количеством известковых образований, гальки и щебня известняка.

Характерно присутствие в них примазок (дендритов) марганцево-железистых соединений, а также кристаллов и друз гипса. В верхней части разреза содержится большое количество червогон, заполненных гумусовым веществом. В нижней части толщи скифских глин встречаются маломощные (от 4 до 6 м) прослои красно-бурых тяжелых и средних супесей. Мощность глин на территории исследованной площадки составляет 15-30 м.

Зависимость изменения временного сопротивления на одноосное сжатие и сцепления уплотненной глины с удалением от контура полости, образованной взрывом заряда ВВ весом 578 кг на глубине 22,9 м, приведена на рис.1.

Зона уплотненных скифских глин характеризуется пониженными значениями пористости и повышенными значениями объемного веса, прочности на одноосное сжатие. При горизонтальном радиусе полости ~ 3,3 м размер зоны уплотнения не превышает 1,8 радиуса полости ( $R_n$ ). При этом у контура полости прочность образцов породы возрастает примерно в 2 раза. Однако несмотря на высокую прочность отдельных образцов, отобранных со стенок полости, общее со-

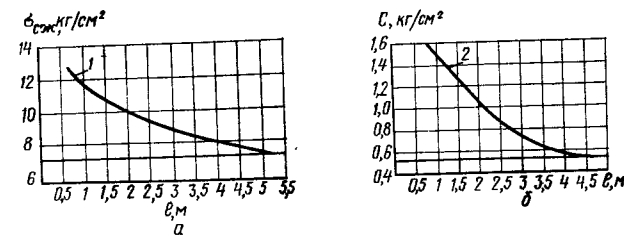


Рис.1. Изменение предела прочности на одноосное сжатие (а) и сцепления скифских глин (б) при удалении от контура полости

стояние приконтурной зоны размерами до 1 м ослаблено за счет развития радиальных и кольцевых трещин. За зоной, нарушенной трещинами, предел прочности на одноосное сжатие ( $\sigma_{сж}$ ) и сцепление ( $C$ ) уменьшаются по экспоненциальному закону (см. рис.1), и на расстоянии 5,6 м ( $\sim 1,8 R_n$ ) их значения приближаются к исходным.

С целью исследования влияния масштаба взрыва на величину зоны уплотнения в скифских глинах была образована полость объемом 4 м<sup>3</sup> зарядом ВВ весом 20 кг на глубине 15 м. Для исследования зоны пластических деформаций полость была вскрыта шурфом и сбоек. В качестве метода исследований применялся способ пенетрации породы, позволяющий с достаточной степенью точности судить об уплотнении породы на различном расстоянии от контура полости. Для пенетрации был использован микропенетrometer MB-2 с конусами 17°40' и 30° и подготовлены 22 площадки, расположенные на различном расстоянии от контура полости (рис.2, табл.4). Размер площадок составлял не менее 200 см<sup>2</sup>, что позволило произвести на

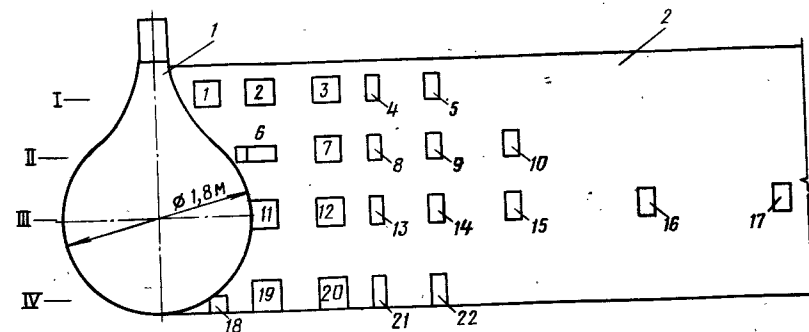


Рис.2. Схема пенетрации приконтурной зоны полости: I - полость; 2 - сбоек; I-IV - уровни площадок для измерения деформаций после взрыва; 1-22 - площадки измерений деформаций массива после взрыва

Показатели пенетрации, полученные на 22 участках, расположенных на различном расстоянии от контура полости

Показатели	Участки пенетрации																					
	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Показатели пенетрации при угле $30^\circ$ $h_1$ , мм	4,2	5,2	5,8	6,2	6,5	4,7	5,6	6,0	6,4	6,7	4,5	5,5	6,0	6,4	6,7	7,1	7,2	4,2	5,0	5,7	6,1	6,4
Показатели пенетрации при угле $17^\circ 40'$ , мм	5,1	6,0	6,8	7,3	7,3	5,8	6,6	6,9	7,8	7,8	5,7	6,6	7,0	7,3	7,7	8,0	8,0	5,8	6,1	6,7	7,0	7,1
Сопротивление породе сдвигу $R_0 = \frac{2,5-0,5 \cdot h_1}{h_1^2}$ кг/см <sup>2</sup>	15	9	7	6,1	5,5	11	7,8	6,6	5,9	5,2	11,6	7,8	6,6	5,7	5,2	4,6	4,5	15	9,8	7,5	6,6	5,7
Сопротивление породе сдвигу $R_0 = \frac{2,5-0,5 \cdot h_1}{h_1^2}$ кг/см <sup>2</sup>	17	11,5	9,1	7,4	7,4	12,6	9,6	8,8	6,6	6,6	12,7	9,6	8,5	7,8	7	6,3	6,3	15,5	12	9,3	8,5	8,2
Среднее значение сопротивления породе сдвигу $R_0$ , кг/см <sup>2</sup>	16	10,2	8,0	6,8	6,5	11,8	8,7	7,7	6,3	6,0	12,0	8,7	7,4	6,8	6,1	5,5	5,4	15,2	10,0	8,4	7,6	6,9

каждой из них по 10-15 измерений, а за искомую глубину погружения конуса принималось среднее арифметическое из измеренных величин  $h_i$ .

$$h_{cp} = \frac{\sum h_i}{N}, \quad (21)$$

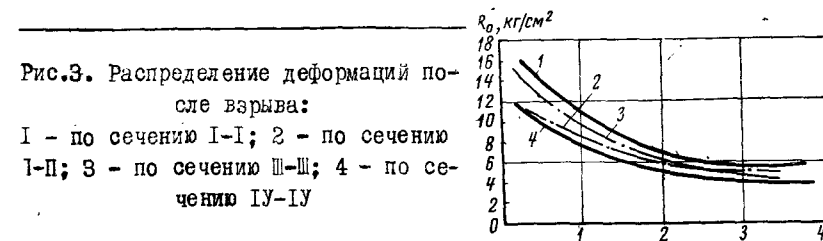
где  $N$  - число измерений на одной площадке.

По измеренной средней глубине погружения каждого конуса определяли численную характеристику сопротивления породы пенетрации - предельное напряжение сдвига  $R_0$

$$R_0 = \alpha \frac{P_m - k h}{h^2} \text{ кг/см}^2, \quad (22)$$

где  $\alpha$  - константа конуса, равная  $\alpha = \frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{\pi \tan \alpha_0}$ .

Для конуса с углом  $30^\circ$   $\alpha = 1,11$  и с углом  $17^\circ 40' = 2,00$ . По данным усредненных показателей глубины погружения различных конусов и значениям сопротивления породе сдвигу построены графики распределения деформаций в зависимости от расстояния от контура полости в соответствующих плоскостях (рис.3). Анализируя кривые распределения деформаций, приведенные на рис.3, приходим к выводу, что наибольшие значения прочностные показатели массива имеют вблизи контура полости, непосредственно за зоной трещиноватости (которая распространяется на глубину 15-25 см). Далее значения прочностных показателей гиперболически уменьшаются, и на расстоянии 2-2,5  $R_n$  уплотнение породы пенетрометром не фиксируется.



**Моренные суглинки.** Мощность толщи моренных суглинков на территории исследованной площадки не превышает 30 м. Геологический разрез на вскрытую глубину представлен среднечетвертичными моренными суглинками ( $q_1 - Q_2$ ) красновато-коричневого цвета

различной степени плотности, легкими до средних; полутвердой и твердой консистенции в средней и нижней частях. В толще суглинков встречаются гнезда глауконитового песка, большое количество гравия и щебня, относительно равномерно распределенные по всему разрезу, отдельные валуны и линзы мелкого песка мощностью до 5 см. На всю вскрытую мощность суглинки характеризуются пестротой литологического и механического составов.

Изучение влияния внутреннего действия взрыва на прочностные и физико-механические свойства моренных суглинков проводили путем сравнения соответствующих показателей до и после взрыва и изучения изменений их в зависимости от расстояния от контура полостей. С этой целью ряд полостей вкрывался с помощью шурфов и сбоев, в некоторых случаях в зоне уплотнения суглинка были пробурены инженерно-геологические скважины с полным отбором монолитов для лабораторных исследований.

При анализе данных вскрытия и результатов визуального обследования вскрытых полостей установлена зона уплотнения моренного суглинка в результате камуфлетных взрывов различной мощности. Эта зона не превышает  $(2-2,5) R_n$ . Прочность отдельных образцов на контуре полости в 2-2,5 раза больше исходной, однако стенки полостей в приконтурной зоне значительно ослаблены за счет развития радиальных и кольцевых трещин, которые в отдельных случаях распространяются на глубину до 1 м.

Объемный вес и пористость грунта в зоне уплотнения обследованных полостей изменяются по абсолютной величине соответственно на 5 и 20%. В связи с большой неоднородностью моренного суглинка весьма сложно установить закономерность изменения этих величин, однако легко заметить некоторую тенденцию к уменьшению объемного веса и увеличению пористости с удалением от контура полости.

Характер изменения механических свойств образцов грунта в зоне уплотнения при удалении от контура полости такой же, как и для скифских глин, т.е. предел прочности на одноосное сжатие и величина сцепления уменьшаются с удалением от полости по экспоненциальному закону до величин, которыми грунт обладал до взрыва.

**Четвертичные суглинки.** Инженерно-геологические изыскания проводились с целью выявления участков, пригодных для строительства подземных хранилищ сжиженного газа. Параметрические взрывы были проведены на двух участках.

Разведочными скважинами на двух участках были вскрыты рыхлые отложения четвертичного и третичного возрастов. Четвертичные отложения ( $d(t_s) Q_{2-3}$ ) на первом участке представлены суглинками серовато-желтого и серовато-коричневого цвета общей мощностью 63-130 м, а на втором - 15-18 м.

Третичные отложения ( $P_2 l-d N_{1-2}$ ) представлены глинами буровато-красно-коричневого цвета, глины плотные, вязкие, редко с включением щебня. Мощность глин на первом участке не превышает 15-25 м, а на втором - 16-21,5 м.

С целью изучения характера уплотнения суглинков в приконтурной зоне полости из инженерно-геологических скважин и сбоев на обоих участках отбирались пробы-монолиты, а на втором участке дополнительно был применен метод микропенетрации.

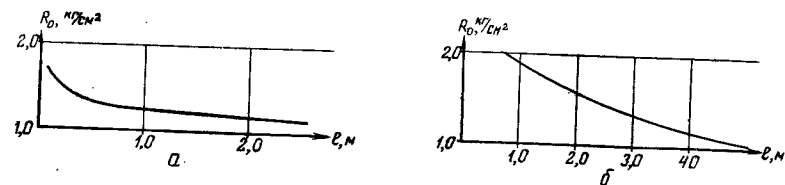


Рис.4. Сцепление породы на первом (а) и втором участках (б) в зависимости от расстояния от контура подземной полости

На рис.4 представлен характер изменения величины сцепления породы с удалением от контура подземных полостей. На этих графиках наглядно показано, что прочностные свойства суглинка имеют максимальное значение вблизи контура полости.

По мере удаления от контура кривая  $R_0 = f(r)$  плавно выполаживается и на расстоянии  $\sim 2 R_n$  достигает такой величины, которой суглинок обладал до взрыва. Характер кривой свидетельствует о равномерном сжатии породы вокруг подземной полости, что создает благоприятные условия для сохранения ее в устойчивом состоянии. Однако обследование подземной полости показало, что приконтурная часть массива разбита трещинами до 0,5 м, что значительно снижает устойчивое состояние подземных полостей.

**Лессовидные суглинки.** Разрез толщ лессовидных суглинков, в которых проводились инженерно-геологические и буро-взрывные работы, относится к иляскому комплексу четвертичной системы ( $Q_2 il$ ) и представляет практический интерес для сооружения подземных емкостей.

Для проведения инженерно-геологических исследований и экспериментальных работ по сооружению подземных полостей с целью всестороннего изучения действия взрывов камуфлетных зарядов в суглинках иляского комплекса был создан специальный полигон. Толща иляских лессовидных суглинков практически безводна; в соприкосновении с водой они оплывают и дают просадку, что затрудняет проведение буро-взрывных работ при использовании в качестве гидрозаймки воды. Как в естественном, так и в уплотненном взры-

вом состоянии лессовидные суглинки фильтруют воду и нефтепродукты.

Объем работ, проведенный на участке, позволил с достаточной степенью точности выявить величину зоны уплотнения и характер изменения прочностных показателей суглинка с удалением от контура полостей. С этой целью на глубине до 3,5 м были взорваны заряды ВВ весом от 0,1 до 1,5 кг в 4I окважине, на глубине до 12 м взорвано 14 скважин зарядами ВВ весом от 20 до 50 кг и на глубине до 28 м взорваны две скважины зарядами ВВ весом 300–400 кг.

Для получения качественной характеристики состояния массива в зоне действия взрыва и выделения характерных зон остаточных деформаций производилась микропенетрация поверхности обнажений в двух взаимно перпендикулярных направлениях по почве и вертикальной стенке траншей. Для микропенетрации выбирались места, свободные от макротрещин, поэтому данные микропенетрации отражали, главным образом, состояние ненарушенного макротрещинами массива.

Для изучения зоны уплотнения суглинка взрывом камуфлетного заряда ВВ было вскрыто 42 полости и проведена микропенетрация на специально подготовленных 630 площадках.

Как и для ранее рассмотренных разновидностей глинистых пород, наибольшее значение  $R_0$  имеет вблизи контура полости, затем с удалением от него прочность суглинка уменьшается и на расстоянии  $\sim 2 R_0$  приближается к исходным.

Тщательное обследование полостей позволило установить, что приконтурная зона разбита системой радиальных и кольцевых трещин. При этом одной из особенностей лессовидного суглинка является обрушение основной массы нарушенной трещинами приконтурной зоны полости сразу же после взрыва, в результате чего уходка дна в зарядном котле после взрыва не происходит. В связи с этим образующиеся полости характеризуются нарушением сферической формы. Однако благодаря высоким прочностным показателям суглинка в естественном состоянии, которые достигают 26–27 кг/см<sup>2</sup>, и образованию вокруг полостей поля уплотнения после взрыва созданные полости находятся в устойчивом состоянии.

Результаты исследований поля уплотнения позволяют подойти к установлению закона динамической сжимаемости глинистых грунтов при взрыве.

Экспериментальные исследования по динамической сжимаемости показали, что закон динамической сжимаемости для моренного суглинка может быть записан в форме:

$$P = 10^4 \left[ \left( \frac{P}{P_0} \right)^4 - 1 \right]. \quad (23)$$

Аналогичным образом представляется возможным установить конкретные формы законов динамической сжимаемости и для других разновидностей глинистых грунтов.

Изменение механических свойств грунта происходит не только из-за изменения его плотности. Известно, что результат воздействия внутреннего взрыва на грунт будет определяться также рядом факторов, характерных для среды, в которой происходит взрыв:

химико-минералогическим составом, дисперсностью, содержанием воды;

структурными особенностями (степенью агрегированности, характером микроагрегатов, размерами пор, общей величиной пористости, наличием микротрещиноватости);

характером текстуры (слоистостью, наличием включений); однородностью строения толщи.

В связи с этим была проведена работа по определению структурных изменений, происходящих в среде после взрыва.

Проведены исследования для трех разновидностей глинистых пород – моренного суглинка, гжельской и скифской глин.

Структурные изменения определялись следующими методами.

Для песчаной и пылеватой фракций определялся минералогический состав, изучалась форма частиц и характер их распределения в породе на шлифах под поляризационным микроскопом.

Минералогический состав глинистой фракции изучался комплексом методов: рентгеновским, термическим, химическим и электронно-микроскопическим.

В результате проведенных исследований установлены некоторые закономерности.

Статическое сжатие приводит к изменению дисперсности глин и микроагрегатного состава. Для гидрослюдистых глин (кембрийской) рост давления приводит к разрушению имеющихся микроагрегатов. Просмотр шлифов показал, что коэффициент ориентации при всех условиях сжатия не меняется и остается равным 75%.

В монтмориллонитовых глинах (гумбрин, аскангель) под давлением сжатия происходит разрушение крупных агрегатов глинистых частиц, причем размеры последних тем меньше, чем больше давление. Мезостроение гумбрин и аскангеля характеризуется появлением ориентации глинистых частиц на отдельных участках. Площадь таких участков увеличивается с ростом давления. Граница между зоной ориентированных и неориентированных частиц характеризуется понижением прочности; по этим участкам наблюдается растрескивание глины.

Микроагрегатный состав каолина в результате статического сжатия меняется в сторону увеличения дисперсности и тем больше,



чем выше давление. Это происходит за счет разрушения микроагрегатов в интервале нагрузок 600-5000 кг/см<sup>2</sup>. Разрушение микроблоков приводит к уменьшению коэффициента ориентации.

Интересно отметить, что уже нагрузка в 250 кг/см<sup>2</sup> снижает коэффициент ориентации блоков с 55 до 10%. Дальнейшее повышение нагрузки не меняет коэффициент ориентации.

Глинистые частицы стремятся повернуться наиболее развитой поверхностью по нормали к направлению действия сжимающей нагрузки.

Для моренного суглинка характерно постоянство дисперсности независимо от величины статического давления. Сжатие морены не приводит к существенным изменениям структуры. Можно лишь констатировать появление небольших участков, для которых характерна некоторая ориентация. Ввиду незначительного содержания глинистой фракции в суглинке изменение в ориентации тонких частиц не имеет существенного значения.

Микростроение моренного суглинка после воздействия на него камуфлетного взрыва характеризуется появлением в контактной зоне взрыва микротрещиноватости, увеличением ориентации глинистых частиц. В этих условиях возрастает сила взаимодействия между частицами, что приводит к повышению прочностных характеристик образца (величины сцепления и временного сопротивления сжатию).

Противоположное действие оказывает микротрещиноватость.

При сравнении результатов до и после взрыва для гжельской глины наблюдается тенденция к уменьшению агрегированности глины после взрыва не только из-за разрушения микроагрегатов, но и за счет разрушения самих крупных частиц. Изменение агрегированности после взрыва наблюдается не только при сравнении образцов до и после взрыва, но и при сравнении образцов по зонам. Уплотнение отмечается на расстоянии 10-12 см от полости радиусом ( $R$ ) 5-6 см.

Анализ всех физических свойств пород, структуры, минералогического состава и механических свойств пород, а также результаты наблюдений за устойчивостью созданных полостей позволяют определить предварительные показатели вышеперечисленных свойств, которые определили бы степень пригодности данной породы для образования подземных полостей методом взрыва.

Таким образом, в результате осуществления опытных камуфлетных взрывов в отдельных разновидностях глинистых пород (моренные суглинки, скифские глины, четвертичные суглинки, лессовидные суглинки и т.п.) изучены основные закономерности изменения физико-механических свойств в пределах зоны уплотнения и установлены ее размеры. При этом механические свойства пластичных пород после взрыва изменяются не только за счет изменения физических свойств,

но и в результате структурно-текстурных изменений, происходящих в породе после взрыва.

Положительным фактором действия взрыва на грунт являются уменьшение пористости и размера пор, а также увеличение ориентации глинистых частиц и дисперсности, что оказывает влияние на повышение сцепления и предела прочности на одноосное сжатие.

Относительные размеры зоны уплотнения не зависят от масштаба взрыва и для всех исследованных случаев находились в пределах 2-2,5  $R_n$ , что создает предпосылки для успешного моделирования процессов, происходящих при камуфлетных взрывах в грунте.

Уплотнение породы в приконтурной части полости характеризуется повышением предела прочности на одноосное сжатие и сцепления в 2-2,5 раза, увеличением объемного веса на 5-10%, а также снижением пористости на 15-30%. Образцы пород, взятые из поля уплотнения, имеют максимальную прочность вблизи контура полости. В самой зоне уплотнения с удалением от контура полости наблюдается изменение механических свойств (см. рис. I), выражаемое эмпирическими экспоненциальными кривыми следующего вида:

$$\sigma_z = \sigma_0 + \frac{\alpha_1}{\rho^{1/2} \bar{z}}; \quad (24)$$

$$c_z = c_0 + \frac{\alpha_2}{\rho^{1/2} \bar{z}}, \quad (25)$$

где  $\sigma_0, c_0$  - значения величин предела прочности грунта на одноосное сжатие и сцепления до взрыва, кг/см<sup>2</sup>;

$\bar{z}$  - относительное расстояние от контура полости до данной точки в зоне уплотнения,  $\bar{z} = \frac{z}{z_{\text{здр}}}$ ;

$\varphi_{1,2} \alpha_{1,2}$  - коэффициенты, характеризующие изменение прочностных свойств глинистой породы в зоне уплотнения, кг/см<sup>2</sup>.

Результаты вскрытия и обследования подземных полостей указывают на равномерное обжатие породы вокруг подземной полости. Однако стенки полостей в приконтурной зоне значительно ослаблены из-за развития радиальных и кольцевых трещин, которые в отдельных случаях распространяются на глубину до 1 м в зависимости от свойств среды и масштаба взрыва. Поэтому в случае необходимости использования подземных полостей в качестве долговременно устойчивых сооружений, например для хранения газонефтепродуктов, необходимо проведение специальных мер по их закреплению.

# КРЕПЛЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ПОЛОСТЕЙ, СООРУЖАЕМЫХ МЕТОДОМ КАМУФЛЕТНЫХ ВЗРЫВОВ

Е результате проведения экспериментальных работ в различных горно-геологических условиях установлены основные закономерности действия взрыва на глинистую среду. Как правило, уплотнение породы в приконтурной части полости характеризуется увеличением прочности на сжатие в 2-2,5 раза, объемного веса - на 5-10%, а также снижением пористости и уменьшением влажности (рис.5).

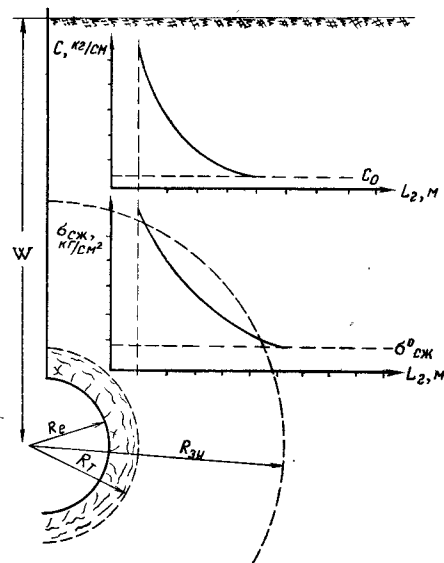


Рис.5. Схема расположения зон остаточных деформаций и графики изменения физико-механических свойств породы в пределах зоны уплотнения:

$W$  - глубина заложения заряда ВВ;  $R_e$  - радиус емкости;  $R_{сж}$  - радиус зоны уплотнения;  $R_t$  - радиус зоны макротрещиноватости и структурного разрушения;  $C$  - сцепление;  $\sigma_{сж}$  - предел прочности породы на одноосное сжатие

Однако во многих случаях устойчивость выработок определяется не столько общими показателями прочности пород, окружающих выработку, сколько особенностями их структурного строения, трещиноватостью и т.п.

Внедрение подземных полостей в практику строительства определяется в основном их устойчивостью во времени. Наблюдениями за состоянием подземных емкостей, сооружаемых в глинистых породах, было установлено, что с течением времени из контура подземной полости происходит вывал отдельных кусков породы. Постепенно обрушение захватывает весь свод и стенки подземной полости, образуя на ее дне все увеличивающийся навал породы.

Разработана технология сооружения подземных полостей камуфлетными взрывами, обеспечивающая доступ человека в подземную по-

лость и качественное ее закрепление. Сущность разработанной технологии сводится к следующему: с поверхности земли до определенной глубины станком типа КШК проходят шурф диаметром 1,2-1,3 м. Шурф обсаживают и производят цементацию затрубного пространства. После закрепления шурфа его углубляют до проектной глубины заложения заряда. Нижняя незакрепленная часть шурфа заряжается необходимым количеством ВВ, устраивается забойка и производится взрыв. В результате взрыва образуется подземная полость, сообщаемая с поверхностью земли посредством закрепленного шурфа. После проветривания подземной полости выполняются работы по ее искусственному закреплению.

Технология закрепления заключается в нанесении на стенки емкости набрызг-бетона с помощью сжатого воздуха (рис.6). Анализ работ [1,2] показал, что данный способ имеет следующие преимущества: может быть полностью механизирован; позволяет совместить в одном технологическом процессе транспортирование, укладку и уплотнение бетонной смеси; исключает необходимость в опалубке. Бла-

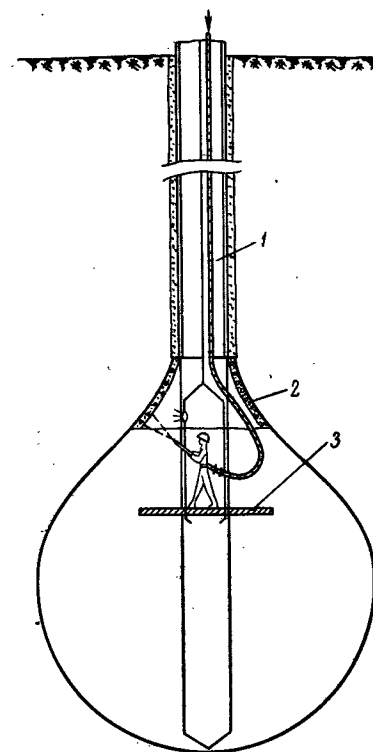


Рис.6. Схема закрепления подземной емкости набрызг-бетоном:

1 - шурф; 2 - набрызг-бетонная крепь; 3 - подвешенная полость

годаря высокой скорости выхода, бетонная смесь омоноличивает внутреннюю поверхность емкости, заполняя в стенках даже мельчайшие трещины, что позволяет наряду с возведением крепи ликвидировать трещиноватость приконтурной части выработки, значительно повысив ее прочностные параметры.

Разработанный способ сооружения и крепления подземных емкостей в настоящее время прошёл экспериментальную проверку на полигоне ВНИИпромпгаза, где созданы и закреплены три опытные емкости.

В практике нанесения набрызг-бетона различают обычный, мокрый и комбинированный способы набрызга. При мокром способе к месту укладки подается по шлангу уже готовая бетонная смесь. Разбрызгивание смеси производится на выходе из сопла с помощью сжатого воздуха, подведенного отдельным шлангом.

К недостаткам мокрого способа следует отнести налипание бетонной смеси на внутренние стенки шланга и оборудования. Случаи образования пробок более часты, а дальность подачи смеси намного меньше, чем при обычном способе, когда по шлангу транспортируется сухая бетонная смесь, увлажняемая в конце транспортирования. Однако при обычном способе не удается получить однородного перемешивания материалов с водой, что в ряде случаев приводит к образованию слоистой структуры набрызг-бетона.

Наиболее прогрессивным является комбинированный способ, предложенный В.И.Бартошем [3], при котором на большей части длины шланга сухая бетонная смесь транспортируется сжатым воздухом, а вода для затворения подается в смесительную камеру, расположенную на расстоянии 3,5 м от выходного сечения шланга. При этом за счет увеличения пути и времени перемешивания материалов с водой значительно улучшается однородность бетона, уменьшается отскок, в то же время сохраняется адгезионная способность бетонной смеси, возможность получения бетона с низким водоцементным отношением и возможность применения крупного заполнителя.

Результаты экспериментальных работ при очевидных преимуществах разработанного способа (низкая стоимость - 12-16 руб. на 1 м<sup>3</sup> закреплённой емкости, небольшие сроки строительства, низкая металлоемкость, взрыво- и пожаробезопасность и т.д.) позволяют рекомендовать закреплённые подземные емкости для внедрения в народное хозяйство в качестве небольших складов нефтепродуктов и сжиженных газов, а также для захоронения наиболее опасных промышленных отходов.

## ОБОРУДОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ПОЛОСТЕЙ ДЛЯ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Отбор дизельного топлива и других жидких продуктов из подземных полостей осуществляют посредством отруйных установок. При эксплуатации склада, представляющего группу подземных хранилищ, когда один центробежный насос, установленный на поверхности, обеспечивает поочередное или групповое действие погруженных в полости эжекторов, применение струйных установок особенно эффективно.

В качестве центробежного насоса на складе целесообразно применять передвижную насосную станцию ПСТ-60/130, подключаемую к наземному трубопроводу на участке расположения емкостей, из которых ведут отбор хранимого продукта.

При пуске установки в действие рабочая жидкость под напором приводного насоса поступает по трубопроводу с поверхности (из резервного бака или каземата) в струйный насос (эжектор), погруженный в полость, и, пройдя через уменьшенное сечение насадки, с большой скоростью в виде мощной струи проходит в камеру смешения, диффузор и трубопровод эжектируемой жидкости.

Одновременно жидкость, окружающая струйный насос, в полости непрерывно увлекается рабочей струей и смешивается с ней в камере смешения.

Далее смешанный поток с выравненной скоростью поступает к всасывающему патрубку приводного насоса на поверхности или в резервный бак в зависимости от технологической схемы установки.

Часть смешанной жидкости снова подает в насадку струйного насоса в качестве рабочей струи, остальную часть - эжектируемую - отводят к месту потребления.

Производительность струйной установки характеризуется отношением

$$U = \frac{Q_0}{Q_p},$$

где  $Q_0$  - количество эжектируемой жидкости, кг;

$Q_p$  - количество рабочей жидкости, кг;

$U$  - коэффициент подмешивания (эжекции).

Струйная установка может работать по трем технологическим схемам (рис.7).

По первой схеме (см.рис.7,а) отбор эжектируемой жидкости осуществляют от напорной линии; по второй - эжектируемую жидкость (см.рис.7,б) отбирают перед входом в приводной насос, направляя в него только рабочую жидкость; по третьей (см.рис.7,в) - смешанный поток после струйного насоса подает в бак, где остается

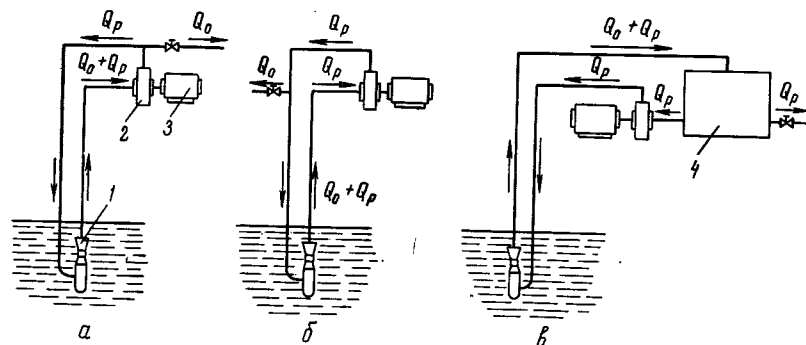


Рис. 7. Схемы струйных установок:

а - отбор эжектируемой жидкости от напорной линии центробежного насоса; б - отбор эжектируемой жидкости от всасывающей линии центробежного насоса; в - отбор эжектируемой жидкости из промежуточного бака:

1 - струйный насос; 2 - центробежный насос; 3 - электродвигатель; 4 - промежуточный бак

эжектируемая жидкость, а рабочий поток поступает из бака к входному патрубку приводного насоса.

Пуск установок, собранных по первой и второй схемам, требует известного навыка и осторожности, так как неумелое обращение с краном управления может привести к снижению расхода эжектируемой жидкости, и зачастую к срыву действия установки. Рекомендуется, отрегулировав один раз оптимальный режим работы установки, нанести метки, фиксирующие положение крана.

Третья схема исключает эту особенность и допускает полное открытие крана быстрым движением.

Третья схема имеет особое преимущество в том случае, когда жидкость заливает в емкость через трубопровод эжектируемого потока, удалив обратный клапан из струйного насоса.

Производительность центробежного насоса передвижной станции ПСГ-60/130 допускает одновременную работу 2 и 3 струйных насосов. Характеристика струйной установки приведена ниже:

#### Условия эксплуатации

Глубина заложения емкости, м . . . . .	28
Хранимый продукт . . . . .	Дизельное топливо
Приводной центробежный насос типа . . . . .	ПСГ-60/130
Производительность, м <sup>3</sup> /час . . . . .	58
Напор, м вод.ст. . . . .	90

#### Насос струйный

Тип . . . . .	В2-6
Габаритные размеры поперечного сечения, мм. . . . .	90 x 150
Диаметр рабочего отверстия насадки, мм. . . . .	11
Расход жидкости на 1 струйный насос, м <sup>3</sup> /час:	
рабочей . . . . .	13,5
эжектируемой . . . . .	14,5
Коэффициент подмешивания . . . . .	1,07
Расход жидкости на 2 струйных насоса, м <sup>3</sup> /час:	
рабочей . . . . .	33,0
эжектируемой . . . . .	27,0
Коэффициент подмешивания . . . . .	0,82
Коэффициент полезного действия струйной установки, % . . . . .	20-25

#### СООРУЖЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ПОЛОСТЕЙ ДЛЯ ЗАХОРОНЕНИЯ ВРЕДНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Непригодные для переработки и вредные промышленные отходы, в том числе и пришедшие в негодность ядохимикаты для сельского хозяйства, подлежат удалению или захоронению, которое бы исключило возможность попадания вредных и ядовитых компонентов в активную биосферу Земли. Существующая в настоящее время практика захоронения промотходов не всегда в должной мере отвечает современным санитарно-гигиеническим требованиям.

В последнее время вопросам охраны окружающей среды посвящен ряд работ как в СССР [4,5], так и за рубежом [6]. Однако эти работы не освещают всего комплекса вопросов подземного захоронения, так как настоящая проблема возникла сравнительно недавно.

Особенно большую опасность загрязнения окружающей среды представляют отходы атомного, металлургического, химического и некоторых других производств.

По сути дела, переработка, утилизация или удаление отходов в технологическом процессе должны являться частью производства, конечной целью которого являлось бы не только извлечение главной полезной части из сырья, но и комплексное использование попутных элементов перерабатываемого материала. Поэтому современные предприятия дополняются цехами переработки отходов. Для переработки используют различные способы: выпаривание и извлечение ценных компонентов, химическое разложение, ионный обмен, осажде-ние и другие, в том числе и биологические способы. Некоторые отходы могут стать сырьем для других отраслей промышленности, как, напри-

мер, отходы угледобычи, сульфидные шлоки, отработанные травильные растворы, нефтяные газы и т.п. Однако при любой степени развития производства и организации комплексного использования сырья появляются переработанные и непригодные отходы. Обычно это твердые или же высококонцентрированные жидкие отходы, которые подлежат удалению или надежному захоронению.

Рассмотрим наиболее распространенные в мировой практике способы удаления или ретоксификации промышленных отходов.

### Термическое окисление

Термическое окисление или сжигание горючих отходов выгодно тем, что получаемое тепло обычно используется в народном хозяйстве. Этот способ пригоден для органических отходов и для стабилизированных смесей органических веществ. В последние годы этому способу уделяется большое внимание. В ноябре 1969 г. Истлунд и Гаук [7] сообщили на конференции американского общества инженеров-химиков о возможности использования термоядерной плазмы для удаления отходов. При температуре порядка  $50 \cdot 10^6$  °C, создаваемой, например, в магнитной ловушке, всякое вещество не только испаряется, но и диссоциирует до отдельных элементов и ионизируется.

### Биологическое окисление и восстановление

Биологические методы для окисления и восстановления отходов применяются не широко, хотя и считаются перспективными. В настоящее время осуществляется, чаще всего случайно, длительное биологическое разложение отходов как естественное следствие применения других способов удаления отходов, например, использования канализационного осадка в качестве удобрений или сточных вод для орошения.

### Захоронение стабилизированных отходов в почву

Стабилизированными отходами называют устойчивую форму состояния отходов, которая частично или полностью исключает миграцию вредных компонентов. Так, метод выплавления твердых отходов в различные по составу заполнители и отверждение жидких растворов с целью стабилизации отходов широко применяется на практике, особенно для захоронения радиоактивных отходов [6, 8].

Во Франции в результате почти десятилетних научно-технических исследований в мае 1969 г. в Центре по производству plutonia начала работать опытная установка для остекловывания продуктов деления. В установке производится выпаривание смеси отхо-

дов и составных элементов стекла, кальцинирование сухого остатка и при температуре 1100–1200 °C — плавление стекла. Полученные стеклянные блоки весом около 1000 кг активностью 200 кюри доставляются к месту их захоронения в шурф глубиной 10 м, вместимостью 20 блоков. После испытания установка была введена в промышленную эксплуатацию.

Ученые Центра ядерных исследований в Лахоре (Пакистан) использовали битум для связывания отходов, содержащих нитраты железа, натрия, никеля, тория и др. Установлена химическая нейтральность смесей, а также возможность увеличения концентрации отходов до 60%.

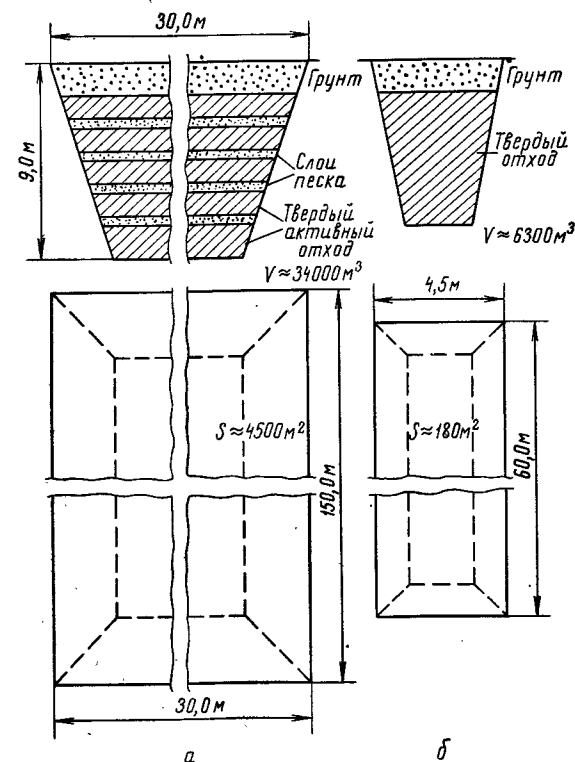


Рис.8. Могильник для захоронения твердых отходов:

а - траншея-могильник типа "слоеный пирог" для захоронения твердых малоактивных отходов (Лос-Аламос, США), б - грунтовая траншея-могильник для захоронения твердых активных отходов (Лос-Аламос, США)

В Ханфорде и Савонна-Ривере (США) жидкие отходы подвергаются выпариванию, а образующиеся высококонцентрированные растворы затем при охлаждении превращаются во влажный кек.

На заводе по химической переработке радиоактивного топлива в Айдахо применяется высокотемпературный процесс в псевдооживленном слое, который позволяет превращать жидкие отходы в гранулированный кальцинированный продукт; объем которого составляет примерно 1/9 объема исходного раствора.

В результате 18-летних научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ Брунхейвенской национальной лаборатории и Тихоокеанской северо-западной лаборатории института им. Бетелла были разработаны следующие методы превращения высокоактивных отходов из жидкого состояния в твердое: отверждение, прокаливание в тигле, превращение отходов в фосфатное стекло и распылительная сушка. Было признано, что отверждение является наиболее перспективным способом переработки и надежного хранения высокоактивных отходов. Отвержденные отходы представляют собой прокаленную массу, керамику или стекло. При этом их объем уменьшается в 9-12 раз.

Стабилизированные отходы производства в большинстве случаев размещаются на незначительных глубинах в различного типа емкостях, ямах, шурфах, в так называемых могильниках (рис.8). В США, например, ежегодно зарывают в землю 50-60 тыс. м<sup>3</sup> радиоактивных отходов слабой активности.

#### Сброс отходов в поверхностные акватории

Сброс промышленных отходов в различного вида водоемы - не-проточные и проточные - это устаревший и изживаемый способ и, как правило, вредный.

Дешевизна этого способа эфемерна, и поэтому повсеместно принимаются меры к его замене.

#### Сброс отходов в океан

Использование этого способа привлекает внимание по многим причинам: трудности со сбросом на суше, большая площадь и объем Мирового океана, большая глубина, практически не используемая в настоящее время человеком, и т. п.

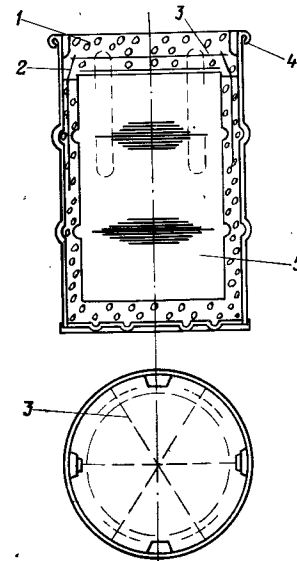
В связи с тем, что многие европейские страны к 1965 г. испытывали трудности в отношении захоронения или хранения твердых радиоактивных отходов, ФРГ выступила с предложением сбрасывать их в Атлантический океан. Группа экспертов признала допустимым захоронение ежегодно в океане отходов активностью до 10000 кюри. Был выбран участок дна площадью 50 км<sup>2</sup>, глубиной более 5000 м на северо-востоке Атлантического океана. Радиоактивные отходы из семи стран (Бельгия, Франция, ФРГ, Нидерланды, Норвегия, Швеция и Англия) со средней активностью в пределах от 0,1 кюри до 1 кюри упаковывали в барабаны емкостью 200 л (рис.9-II) и впервые с 17 мая по 22 августа 1967 г. были захоронены на дне океана. Количество отходов, захороненное некоторыми из вышеперечисленных стран, приведено в табл.5.

Стоимость, например, транспортировки отходов из Центра ядерных исследований в Каркруэ (ФРГ) до речного порта на Рейне и далее до морского порта Эмден составила 112 марок/м<sup>3</sup>, перевозка морем и затопление обошлось 215 марок/м<sup>3</sup>.

Несмотря на отсутствие прямых признаков опасности заражения вод Мирового океана в результате первой операции сброса радиоактивных отходов, все же нельзя признать перспективным этот

Рис.9. Контейнер с внутренней бетонной запитой:

1 - крышка из бетона; 2 - продольная арматура (6 гнутых стержней); 3 - поперечная арматура (3 прямых стержня); 4 - проушины для стропов (4 шт.); 5 - зола из печей для сжигания отходов или смешанные прессованные отходы



Количество радиоактивных отходов, захороненное на дне океана европейскими странами в 1967 г.

Страна	Количество контейнеров	Брутто, т	Активность, кюри	
			альфа	бета-гамма
Англия ....	1268	724	91	1682
ФРГ .....	480	180	0,5	5
Нидерланды.	501	207	0,07	2
Бельгия....	1945	600	-	190
Франция ...	896 (бетон) 700 (отходы)	449 8735	1 160 (макс.)	10 5747
В с е г о..	35790	10895	253	7636

отходов в Атлантическом океане западнее Пиренейского полуострова, это вызвало протесты Испании и Португалии. Отсутствие закона, который бы запрещал любой стране или группе стран сбрасывать радиоактивные отходы в экстерриториальных водах, способствовало проведению второй операции. В настоящее время разрабатывается третья операция.

#### Захоронение отходов в герметичных резервуарах

Захоронение и длительное хранение отходов в металлических и железобетонных резервуарах используются, главным образом, для наиболее вредных промышленных отходов. Например, в США в цистернах ежегодно хранится около 300 тыс. м<sup>3</sup> жидких радиоактивных отходов. Эти резервуары могут быть как наземными, так и заглубленными (рис.12). Для герметизации применяют различные коррозионно-устойчивые и обычно дорогостоящие материалы - легированные стали, титан, цветные металлы, специальные бетоны, керамика и т.п. В связи с особыми требованиями к надежности и обеспечению безопасности захоронения высокотоксичных веществ этот способ редко оценивается по экономическим показателям для сравнения с другими. Кроме того, эти способы нередко комбинируются (см.рис.9); захоронение контейнеров в почву и т.д. Все это требует сооружения дорогостоящих бункеров, камер, казематов и других полостей с большим объемом горнопроходческих работ и сложным оборудованием, а также полной облицовкой внутренних стен дорогостоящими материалами.

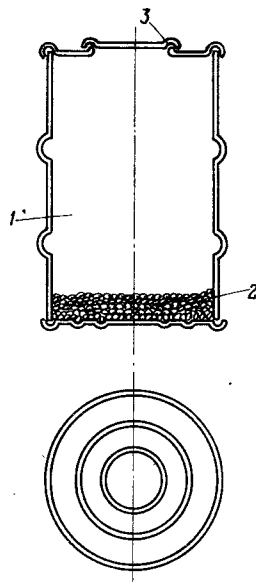


Рис.10. Контейнер с отходами (без устройства для балансирования давления):

1 - отходы; 2 - балласт; 3 - резиновая прокладка

способ захоронения. Поэтому, когда в странах-членах Евroatoma вновь накопилось достаточное количество отходов, и в 1969 г. была проведена вторая операция по захоронению радиоактивных

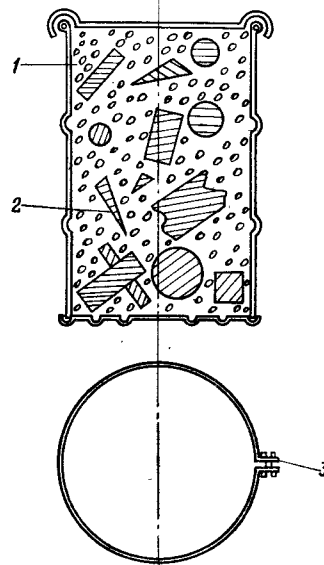


Рис.11. Контейнер для отходов, фиксированных в бетон:

1 - наполнитель из камней и жидкого цемента; 2 - неплавучие отходы; 3 - замок кольца

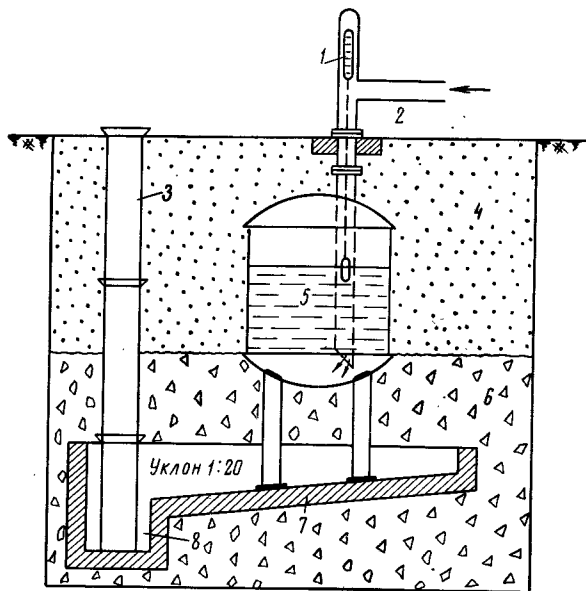


Рис.12. Подземная металлическая емкость для жидких радиоактивных отходов средней и высокой активности (Ок-Ридж, США):

- 1 - указатель уровня раствора; 2 - технологические трубопроводы; 3 - оухой колодец из стеклянных труб диаметром 210 мм; 4 - насыпной грунт; 5 - емкость из нержавеющей стали; 6 - дробленый камень - мелкий щебень; 7 - бетонный поддон; 8 - зумпф

Ограничивающими факторами широкого применения настоящего способа для захоронения отходов являются: высокая стоимость захоронения 1 м<sup>3</sup> отхода и невозможность использования этого способа для захоронения значительных объемов вредных отходов.

#### Подземное захоронение

Анализ состояния и планов захоронения токсичных отходов в различных странах мира показывает, что для этой цели используются различные типы подземных резервуаров [9-10]. Для захоронения вредных промышленных отходов в настоящее время служат соляные полости, заброшенные шахтные выработки, водоносные горизонты, глинистые грунты и т.п.

Захоронение отходов в первую очередь производят в уже готовых выработках соляных рудников или заброшенных шахтах. Испания использует для захоронения радиоактивных отходов заброшенную шахту в районе Кордовы.

ФРГ в 1965 г. приспособила соляную шахту "Ассе" близ Вольфенбюттеля [11] для захоронения твердых радиоактивных отходов. Горная цепь Ассе длиной 8 км образована триасовыми отложениями, залегающими седловидной структурой. Соляной пласт перекрыт пачкой пестроцветных песчаников мощностью в несколько сотен метров. В шахте "Ассе" имеется около 100 выработанных камер емкостью примерно 3,5 млн.м<sup>3</sup> на глубине от 490 до 800 м. Приспособление шахты заключалось в подземном и наземном оборудовании для приемки и укладки упакованных отходов. С 1967 по 1968 г. в камеру на глубине 750 м было уложено около 900 м<sup>3</sup> (4500 бочек емкостью 200 л каждая) малоактивных отходов, а к апрелю 1970 г. было захоронено

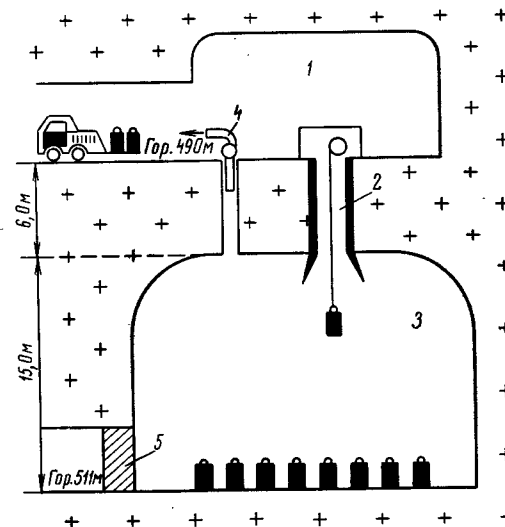


Рис.13. Подземное хранилище шахтного типа в каменной соли (шахта, Ассе II, Вольфенбюттель, ФРГ) для твердых радиоактивных отходов:

- 1 - камера загрузки; 2 - скважина для загрузки; 3 - камера постоянного хранения; 4 - вытяжная вентиляция; 5 - непроницаемая перемычка



примерно 6500 бочек с твердыми отходами. Схема опытной укладки среднеактивных отходов между горизонтами 490 и 511 м приведена на рис.13. Процесс укладки непрерывно контролируется телевизионным устройством.

В США планируется осуществить проект захоронения отходов с завода в Саванна-Ривере в подземные полости. При производстве ядерного оружия образуются высокоактивные отходы, которые в настоящее время хранятся в подземных резервуарах, расположенных в бетонных камерах, облицованных углеродистой сталью. Используют 28 резервуаров емкостью 2839-4921 м<sup>3</sup> каждый. Еще два резервуара строятся.

Проект по удалению отходов в подземные полости в скальных породах разрабатывается с 1961 г. совместно с Геологическим горнорудным управлением и Инженерным корпусом. Выделяется 1,3 млн.долл. на инженерно-геологические исследования и составление проекта шахты на глубине 450-600 м под территорией завода. Стоимость эксплуатационных и разведочных штолен составит около 10 млн.долл. Подземные полости с отходами будут герметично закупорены только после получения данных о том, что поведение отходов соответствует расчетам. Имеются сообщения и о других планах сооружения подземных хранилищ для отходов в США [9].

Итак, приведенные примеры показывают практическую возможность и техническую целесообразность в большинстве случаев для захоронения твердых вредных промышленных отходов использовать подземные полости различного типа с предварительным выполнением необходимых инженерно-геологических исследований.

#### Захоронение жидких отходов

Для захоронения жидких промышленных отходов (промстоков) могут использоваться подземные полости, образуемые в толщах горных пород различными технологическими методами. Однако на практике получил распространение способ закачки сточных вод в глубоко-залегающие проницаемые пласты. Несмотря на наличие определенных трудностей в вопросах сброса жидких отходов в водоносные горизонты и опасность загрязнения подземных вод этот способ находит широкое и успешное применение [12].

Основным методом захоронения жидких промстоков является закачка их через нагнетательные скважины в водоносный горизонт, который не используется для хозяйственно-питьевого или технического водоснабжения, т.е. считается непригодным. Известны также факты опытной закачки под высоким давлением вредных растворов в трещины слабопроницаемой породы, иногда вместе с отвердителем жидкого отхода. Метод удаления жидких отходов путем гидроразрыва

плохопроницаемых пластов заключается в следующем. Отходы смешиваются с сухими добавками, главным образом с цементом. Полученная пульпа закачивается в трещины пласта под высоким давлением через скважину.

Гидроразрыв в сланцеватых породах осуществляется водой, а затем в образовавшуюся щель закачивают пульпу, которая вызывает дальнейшее распространение разрыва. После закачки определенного объема промтоков закаченный раствор твердеет, образуя горизонтальную прослойку. Затем операцию повторяют, создавая вверх по скважине ряд прослоек, надежно захороненных и стабилизированных.

#### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СООРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПОЛОСТЕЙ

Как уже отмечалось, технология сооружения подземных полостей разрабатывалась с целью хранения в них нефтепродуктов и сжиженных газов. Поэтому в данном случае внедрение подземных полостей в основном определяется их устойчивостью во времени.

При использовании этих полостей для захоронения промышленных отходов (рис.14) требования к их устойчивости могут быть значительно снижены. Этот фактор в значительной мере влияет на их экономическую эффективность.

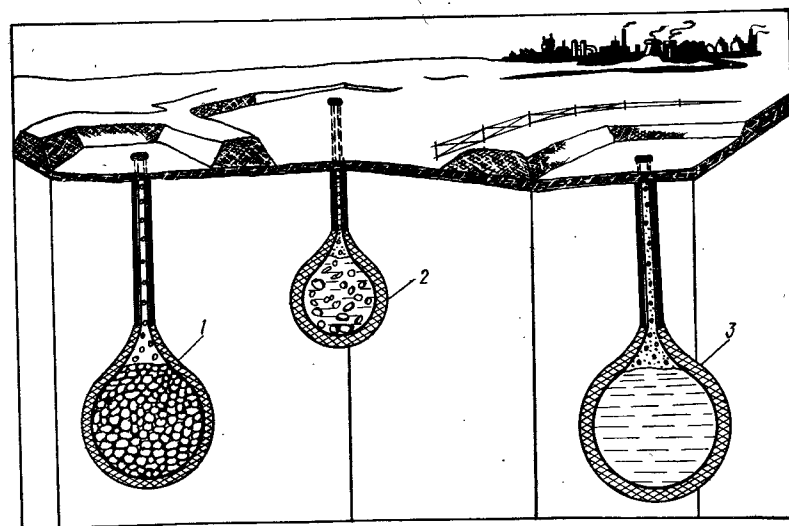


Рис.14. Захоронение промышленных отходов:

1 - подземная емкость с твердым отходом; 2 - подземная емкость с комбинированным отходом; 3 - подземная емкость с жидким отходом

Расчет сметной стоимости сооружения подземных полостей показывает, что в зависимости от объема и глубины заложения полости стоимость 1 м<sup>3</sup> не превышает 7-14 руб.<sup>х)</sup>.

Полости, сооружаемые методом камуфлетных взрывов, являются подземными сооружениями, и это оказывает решающее влияние на стоимость их строительства. При неизменном объеме емкостей увеличение глубины заложения влечет за собой рост затрат на их строительство. Например, стоимость емкости объемом 100 м<sup>3</sup> с увеличением глубины заложения значительно возрастает. При неизменной глубине заложения с увеличением объемов емкостей возрастают абсолютные, но значительно снижаются удельные капитальные затраты. Так, при глубине заложения, например, 30 м с увеличением объема емкости со 100 до 200 м<sup>3</sup> стоимость 1 м<sup>3</sup> снижается на 45%, со 100 до 300 м<sup>3</sup> - на 60%. Отсюда ясно, что при прочих равных условиях наименьшую удельную стоимость будут иметь емкости, отвечающие следующим условиям - наибольший объем при наименьшей глубине заложения. Сметная стоимость 1 м<sup>3</sup> емкости в зависимости от объема и глубины заложения приведена в табл.6.

Т а б л и ц а 6

Стоимость буро-взрывных работ по сооружению подземных емкостей методом взрывов

Емкость V , м <sup>3</sup>	Сметная стоимость, руб /м <sup>3</sup> емкости при глубине заложения, м				
	20	25	30	35	40
Включая каротаж					
100	8,26	9,78	11,48	-	-
200	-	-	6,48	7,26	8,05
300	-	-	4,81	5,32	5,85
Без каротажа					
100	7,36	8,86	10,50	-	-
200	-	-	6,02	6,80	7,59
300	-	-	4,5	5,01	5,54

П р и м е ч а н и е. Расчет сметной стоимости выполнен по расценкам 1963-1964 гг.

При этом в сметной стоимости были учтены затраты только на строительство полостей без оборудования их загрузочными устройствами и без привязки строительства к местным условиям. Накладные

<sup>х)</sup> Стоимость захоронения 1 м<sup>3</sup> промотходов в траншейных могильниках достигает 46-47 руб.

расходы учтены в размере 16,5%, плановые накопления приняты в размере 6%.

Как видно из приведенных данных, способ сооружения подземных полостей взрывами ВВ относительно недорог, а технология их строительства в глинистых отложениях достаточно отработана. Изучение геологического строения районов расположения предприятий цветной металлургии показало возможность использования таких полостей на ряде комбинатов. Однако полости, сооружаемые методом камуфлетных взрывов, могут быть использованы для захоронения в них промышленных отходов лишь при надежных экранирующих свойствах вмещающих глинистых пород. Поэтому в настоящее время большое практическое значение приобретает задача прогноза миграции отходов из подземных полостей.

Как правило, подземная полость сооружается в средней части глинистого пласта. Естественно, что такая полость окажется ниже уровня грунтовых вод, в зоне полного водонасыщения пористого пространства глинистых пород. Это имеет свои положительные стороны, поскольку в этой зоне не будут действовать такие активные факторы миграции, как испарение, инфильтрация, обычно имеющие большое значение в зоне аэрации с переменным режимом увлажнения.

Перед вводом в эксплуатацию подземных полостей для захоронения промотходов необходимо дать прогноз миграции промышленных отходов в толще глинистых пород. Для выявления тех процессов, которые способствуют миграции промышленных отходов, первоочередной задачей явилась постановка натурного эксперимента.

Натурные исследования миграции промотходов выполнялись на отвальном хозяйстве Усть-Каменогорского титано-магниевого комбината<sup>х)</sup>. Однако в практике отвального хозяйства до сих пор применяют лишь поверхностное складирование отходов, миграция которых происходит в приповерхностной толще суглинков в зоне аэрации. В связи с этим эксперимент могли поставить лишь на уже имеющихся подобных площадках, существующих достаточно долго, и где уже прошло заметное продвижение промышленных отходов от места их захоронения.

Геологическое строение площадки характеризуется следующими породами.

Сверху залегают четвертичные суглинки, известковистые с редким включением мелкого щебня и дресвы, от полутвердой до мягкопластичной консистенции, влажные. Мощность суглинков 10-15 м. Ниже расположена красно-бурая глина с включением дресвы и мелкого

<sup>х)</sup> Исследования миграции промотходов выполнялись совместно с МГУ под научным руководством канд.хим.наук Брилинг И.А.

щебня с гидроокислами марганца и железа, очень плотная, влажная. Глины залегают на палеозойских хлорито-серицитовых сланцах, выветренных, трещиноватых.

Уровень грунтовых вод расположен на глубине 6-6,5 м, т.е. нижняя часть суглинков является водоносной.

Траншея, являющаяся западной границей участка, была вскрыта бульдозером на глубину 5-5,5 м, заполнена отходами хлоридов, засыпана землей и вновь выровнена бульдозером. Длина траншеи 500 м. На этом участке были разбиты четыре профиля, расположенные перпендикулярно к краю траншеи. На каждом профиле пробурено ручным буром по 4 скважины глубиной до 6 м, т.е. до уровня грунтовых вод. Скважины опробовали через каждый метр, начиная с глубины 1 м. Длина каждого профиля не превышала 100 м, так как с восточной части траншеи участок ограничен пшеничным полем, поэтому участок имеет столь ограниченную ширину.

Полученная картина распределения концентраций порового раствора явилась отражением взаимодействия сложных процессов, имеющих место в зоне аэрации. Процесс испарения с поверхности грунтовых вод, способствующий поднятию соли из водоносного горизонта, усложняется диффузией в этом же направлении, а также транспирацией воды растениями. С другой стороны происходит фильтрация атмосферных осадков, при которой продвижение солей вверх задерживается. Миграции в поперечном направлении способствует диффузия из траншеи с отходами. Основным же источником засоления зоны аэрации следует все же считать водоносный горизонт, по которому мигрируют соли и поднимаются по нему вверх. Поэтому был построен план засоления участка (рис.15), причем на плане помечали засоление самой нижней пробы из скважины, т.е. пробы, наиболее приближенной к водоносному горизонту. Получив таким образом картину засоления ближайшего к кровле водоносного горизонта слоя суглинков, можно отметить, что засоление возрастает по мере удаления от траншеи. Проследим теперь весь путь миграции промоторов. Попадание их в водоносный горизонт не составляет трудностей, так как небольшая метровая перемычка из суглинка между дном траншеи и уровнем грунтовых вод может быть пройдена как диффузионным путем, так и при впитывании атмосферных осадков. Количество соли, попадающее ежегодно таким образом в водоносный горизонт из одной траншеи, составляет

$$m = H \cdot S \cdot C, \quad (26)$$

где  $m$  - годовое поступление (хлора) в водоносный горизонт;  
 $H$  - годовое количество осадков (0,1 м/год);  
 $S$  - площадь траншеи,  $500 \times 4 = 2000 \text{ м}^2$ ;

$C$  - предельная растворимость солей для хлористого натрия  
 $C = 180 \text{ г/л}$  хлора, откуда  $m = 0,1 \cdot 2000 \cdot 180 = 36 \text{ т/год}$ .

Это количество хлора поступает в водоносный горизонт и растворяется в воде

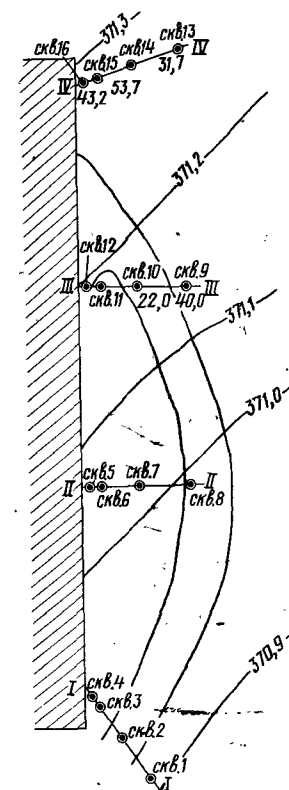
$$V = \frac{S \cdot h \cdot n}{100 + n}, \quad (27)$$

где  $V$  - объем воды в водоносном суглинке под траншеей;  
 $n$  - пористость водоносных суглинков ( $n = 30\%$ );  
 $S$  - площадь траншеи;  
 $h$  - мощность водоносного горизонта ( $h = 4 \text{ м}$ ).

Расчет показывает, что 36 т хлора, поступающего ежегодно с атмосферными осадками в водоносный горизонт, растворяется в объеме воды, который составляет  $1850 \text{ м}^3$ . Тогда концентрация порового раствора в водоносном горизонте составит

$$C = \frac{m}{V} = \frac{36}{1850} = 19 \text{ г/л}.$$

Рис.15. План засоления суглинков на пункте захоронения промоторов титано-магниевого комбината



При этом порядок величин концентрации водоносного горизонта после засоления (19 г/л), определенный расчетным путем, совпадает с концентрацией порового раствора в ближайшем к водоносному горизонту слое суглинка (3-60 г/л), полученной в натуральных условиях.

Таким образом, попав в водоносный горизонт, соли начинают двигаться в фильтрационном и диффузионном потоках.

Чтобы оценить скорость движения солей в фильтрационном потоке, рассчитаем скорость фильтрации

$$V = \frac{K_f \cdot J}{n}, \quad (28)$$

где  $K_f$  - коэффициент фильтрации;

$J$  - напорный градиент;

$n$  - пористость в долях единицы.

В табл.7 приведены значения  $K_f$ , определенные лабораторным путем.

Т а б л и ц а 7

Расчетные значения коэффициента фильтрации

№ окважины	№ образца	$K_f$ , см/сек	$K_f$ , м/сутки
8	4-5	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$
II	6	$2,8 \cdot 10^{-4}$	0,24
16	6	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$
14	4-5	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$

Из данных табл.7 видно, что значения  $K_f$  изменяются от  $10^{-4}$  до  $10^{-5}$  см/сек, причем определения сделаны на пластах исследуемой породы. Необходимо отметить, что значение  $K_f$  в массиве суглинка может увеличиваться на 2 порядка вследствие его литологической неоднородности. В связи с незначительными геометрическими размерами исследуемого участка весьма трудно было определить уклон потока, однако с некоторым приближением это было сделано путем допущения, что уклон потока параллелен уклону местности. Интерполяция изогипса позволила подсчитать падение рельефа местности и определить уклон, который составляет 0,001. Таким образом получаем скорость потока

$$V = \frac{0,1 \cdot 0,001}{0,3} = 0,00033 \text{ м/сутки, или } 15 \text{ см/год.}$$

Оценка скорости фильтрационного переноса существенно зависит от точности определенных параметров -  $J$  и  $K_f$ . Данные натуральных наблюдений показывают, что прослой с большим значением  $K_f$  имеют место, поскольку миграция промышленных отходов за 6 лет распространилась как минимум на 100 м. Поэтому расчетными должны быть максимально допустимые значения коэффициента фильтрации.

Помимо фильтрационного, следует также оценить и диффузионный перенос. Коэффициент диффузии во время фильтрации, т.е. коэффициент фильтрационной диффузии, можно принять равным

$$D_{\phi} = D_m + D_0 V, \quad (29)$$

где  $D_m$  - коэффициент молекулярной диффузии, определенный лабораторным путем, при отсутствии фильтрации его расчетное значение для некоторых исследованных глинистых пород составляет  $\sim 3 \cdot 10^{-6}$  см<sup>2</sup>/сек;

$$D_0 = 0,1 \text{ см.}$$

$$V = K_f J = 10^{-2} \cdot 10^{-5} \text{ см/сек.}$$

Член  $D_0 \cdot V = 10^{-6}$  см<sup>2</sup>/сек, т.е. соизмерим с коэффициентом молекулярной диффузии, поэтому примем  $D_{\phi} = 2 D_m$ , т.е.  $6 \cdot 10^{-6}$  см<sup>2</sup>/сек.

Диффузионное продвижение компонентов можно определить из уравнения, связывающего концентрацию и расстояние от источника соли.

$$C = A \cdot e^{\frac{\ell^2}{4Dt}},$$

где  $A$  - постоянная величина, характеризующая концентрацию источника соли.

Для ориентировочного расчета можно принять, что если предел растворимости NaCl равен 250 г/л, то аналитически легко можно определить его концентрацию в поровом растворе, тогда

$$\frac{C}{A} = 0,004, \text{ и, следовательно:}$$

$$-\frac{\ell^2}{4Dt} = \ln 0,004; \ell^2 = 22Dt; \ell = 4,7\sqrt{Dt}.$$

После подстановки величин расчетных значений имеем  $\ell = 71$  см/год, или за 6 лет 1,8 м.

Величину  $\ell$ , характеризующую диффузионный перенос солей, следует рассматривать как ширину размазывания фронта фильтрующего раствора (рис.16).

Таким образом, при фильтрации раствора в наиболее проницаемых прослоях породы с  $K_f = 10$  м/сутки продвижение фронта фильтрующего раствора, как показывает приведенный ранее расчет,  $\ell = 15$  м/год, при этом величина размазывания фронта  $\ell$  составит 71 см в первый год и 1,8 м за 6 лет.

Миграция элементов вверх-вниз в зоне аэрации из водоносного горизонта происходит, очевидно, за счет диффузии, капиллярного поднятия и испарения, поднимающих соли вверх, а также в результате инфильтрации, смывающей их вниз. Для анализа роли каждого из этих факторов необходимо проведение специальных исследований.

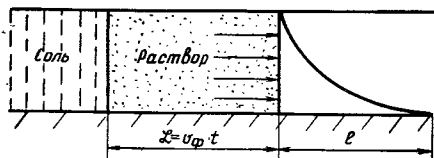


Рис.16. Схема соотношения диффузии и фильтрации при переносе промоторов в суглинках

Анализ схемы засоления участка показывает увеличение концентрации по мере удаления от траншей. Как уже отмечалось, длина профилей определялась границей пиеничного поля, что приводит к предположению о транспирирующей деятельности растений.

Расстояние  $S$ , на которое поднимается вода в результате транспирации, составит

$$S = \frac{V_T \cdot T}{W}, \quad (30)$$

где  $V_T$  - окорость транспирации,  $10^{-3}$  м/сутки;  
 $W$  - естественная влажность породы;  
 $T$  - количество дней в году.

$$S = \frac{10^{-3} \cdot 365}{0,2} = 1,8 \text{ м/год.}$$

Таким образом, за 6 лет существования траншей путь продвижения фронта засоленных грунтовых вод за счет транспирации вверх мог составить 11 м, что равно удвоенному расстоянию от уровня грунтовых вод до земной поверхности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате обобщения экспериментальных и теоретических исследований в области сооружения подземных емкостей методом камуфлетных взрывов можно сделать следующие выводы:

1. Разработана технология и доказана практическая возможность сооружения подземных емкостей методом камуфлетных взрывов сосредоточенных зарядов ВВ. Исследованы вопросы сейсмобезопасности при сооружении емкостей, разработан метод расчета зарядов и выбор параметров буро-взрывных работ.

2. Изучены основные закономерности изменения физико-механических свойств глинистых пород в пределах зоны уплотнения и установлены ее размеры.

Относительные размеры зоны уплотнения не зависят от масштаба взрыва и для всех исследованных случаев находятся в пределах 2-2,5 радиуса полости, что создает предпосылки для успешного моделирования процессов, происходящих при камуфлетных взрывах в грунтах.

3. Уплотнение породы в приконтурной части полости характеризуется увеличением предела прочности на одноосное сжатие в 2-2,5 раза, а также снижением пористости на 15-30%.

4. Результаты вскрытия и обследования подземных полостей указывают на равномерное обжатие породы вокруг подземной полости. Однако стенки полости в приконтурной зоне значительно ослаблены из-за развития радиальных и кольцевых трещин.

5. Техничко-экономические показатели сооружения подземных емкостей и достаточная адсорбционная способность глинистых пород создают благоприятные условия для захоронения вредных промышленных отходов. В данном случае могут быть использованы подземные полости без проведения предварительных работ по их закреплению.

6. С целью обеспечения длительной устойчивости емкостей для хранения и эксплуатации в них газонефтепродуктов разработана технология строительства подземных емкостей через скважины больших диаметров с последующим закреплением их набрызг-бетоном.

Полученные закономерности могут явиться первоосновой для управления камуфлетными взрывами при образовании полостей в глинистых грунтах с учетом времени их устойчивого стояния.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Белов И.И., Громадокий В.И. Крепление горных выработок набрызг-бетоном. Горный журнал, 1967, № 4.
2. Ержанов Ж.С., Айталиев Ш.М., Шилкин П.И. Конструирование и расчет набрызг-бетонной крепи. М., "Недра", 1971.
3. Власенко И.А., Шаврин В.И. Рекомендации по применению набрызга и пневмотранспорта бетонной смеси на объектах МПС. Киев, НИИСП Госстроя СССР, 1970.
4. Лесникова Н.П. Правовые проблемы охраны природы в СССР. "Природа", 1970, № 1.
5. Материалы научно-технической конференции по использованию подземных водных ресурсов и охране их от загрязнения и истощения, Баку, 1970.
6. Rogan W. Proceedigs of the Symposium on the Solidification and long-term storage of highly radioactive wastes Richmond-Washington, 1966.
7. Chemical Engineering, vol. 76, 1969, N 27, p. 56.
8. Review of radioactive waste management in western Europa. Atomic Energy Review. 1967, vol. 5, N 4, p. 169-180.
9. Белтер. Опыт США по переработке, хранению и удалению радиоактивных отходов. М., Атомиздат, 1966.
10. Chincy A. Amal Raf R. Management of radioactive wastes. Technology, India, 1966, vol. 3, N 4, p. 8.
11. Альбрехт Э. Захоронение радиоактивных отходов в горных выработках. Гликауф, 1969, № 18.
12. Юдин Ф.П. и др. Опыт захоронения жидких радиоактивных отходов в глубокие геологические формации. "Атомная энергия", т.25, 1968.

# СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
В в е д е н и е . . . . .	3
Подготовительные работы . . . . .	5
Инженерно-геологические исследования . . . . .	5
Общая технология сооружения подземных полостей в пластичных породах способом камуфлетных взрывов. . .	7
Организация строительства. . . . .	10
Взрывчатые вещества, применяемые при образовании под- земных полостей. . . . .	11
Некоторые положения основных мер по технике безопас- ности при производстве взрывных работ. . . . .	15
Расчет параметров камуфлетных взрывов при образова- нии подземных полостей . . . . .	17
Определение сейсмического воздействия на наземные и подземные сооружения при строительстве подземных по- лостей методом камуфлетных взрывов . . . . .	20
Экспериментальные исследования закономерностей из- менения некоторых свойств глинистых пород в зоне камуфлетного взрыва. . . . .	25
Крепление подземных полостей, сооружаемых методом камуфлетных взрывов . . . . .	36
Оборудование подземных полостей для их эксплуатации	39
Сооружение подземных полостей для захоронения вред- ных промышленных отходов предприятий цветной метал- лургии . . . . .	41
Термическое окисление . . . . .	42
Биологическое окисление и восстановление . . . . .	42
Захоронение стабилизированных отходов в почву. . . . .	42
Сброс отходов в поверхностные акватории. . . . .	44
Сброс отходов в океан. . . . .	44
Захоронение отходов в герметичных резервуарах. . . . .	47
Подземное захоронение. . . . .	48
Захоронение жидких отходов . . . . .	50

Технико-экономические показатели сооружения под- земных полостей . . . . .	Стр. 51
Заключение. . . . .	59
Л и т е р а т у р а . . . . .	61

Редактор Н.Г.Никитина      Технический редактор И.А.Соколова  
Корректор Г.Ф.Беляева

Подписано к печати 28/IV 1973 г.

Формат 60x90 1/16 Объем 4,0 п.л. 3,6 уч.-изд.л. Изд. № 477  
Т - 06052 Тираж 625 экз. Цена 36 коп. Заказ 366

Институт "Цветметинформация"