

УДК 622.235 (043.3): 622.286.4(043.3)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОБРАЗОВАНИЯ ПРОТЯЖЕННЫХ ВЫЕМОК В НЕУСТОЙЧИВЫХ ГРУНТАХ ВЗРЫВОМ КАМУФЛЕТНЫХ И СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Каримов Ё.Л.

и.о.доцента кафедры «Горное дело» Каршинского инженерно-экономического
института (тел. (97) 316-36-64, e-mail: karimov_6613@mail.ru)

АННОТАЦИЯ

В работе исследовано напряженно-деформированное состояние массива вокруг очага камуфлетного скважинного заряда ВВ и определены максимальное давление, импульс и радиус камуфлетной полости в мягких. Разработан способ образования протяженных выемок в неустойчивых грунтах взрывом камуфлетных и скважинных зарядов ВВ, обеспечивающего эффективность образования протяженных выемок в неустойчивых грунтах. Разработана методика определения радиусов зон уплотнения и радиуса эффективного действия взрыва в зависимости от массы заряда ВВ и их глубины заложения, обеспечивающая максимальный камуфлет взрыва и эффект уплотнения.

Ключевые слова: Камуфлетный скважинный заряд ВВ, напряженно-деформированное состояние массива, удельный расход ВВ, неустойчивый грунт, максимальное давление, Песчаный грунтовый массив, масса заряда ВВ, неустойчивый грунт, целевой заряд ВВ.

ABSTRACT

In this paper, the stress-strain state of the mass around the focus of a camouflage borehole explosive charge was studied and the maximum pressure, momentum, and radius of the camouflage cavity in soft ones were determined. A method has been developed for the formation of extended recesses in unstable soils by the explosion of camouflage and borehole explosive charges, which ensures the effectiveness of the formation of extended recesses in unstable soils. A technique has been developed for determining the radii of the compaction zones and the radius of the effective action of the explosion depending on the mass of the explosive charge and their depth, which provides the maximum camouflage of the explosion and the compaction effect.

Keywords: *Camouflage borehole explosive charge, stress-strain state of the array, specific consumption of explosives, unstable soil, maximum pressure, Sandy soil massif, mass of explosive charge, unstable soil, slotted explosive charge.*

ВВЕДЕНИЕ

При описании действия камуфлетного скважинного заряда взрывчатых веществ (ВВ) основное внимание уделяется процессу развития камуфлетной полости массива, которая достаточно полно описана в работах [1-4].

На основании теоретических и экспериментальных исследований В.В.Адушкина, А.А.Вовк, М.А.Садовского, В.Н.Родионова, Г.И.Покровского, М.М.Докучаева, А.Н.Ханукаева, Г.М.Ляхова, У.Ф. Насирова, Ю.Д.Норова, А.А.Черниговского, Г.И.Черного и др. ученых процесс образования камуфлетной полости взрыва скважинного заряда ВВ схематически можно представить в виде, которое приведен на рис. 1. Под воздействием свободных продуктов взрыва формируется ударная волна, энергия которой равномерно передается во все стороны массива. Песчаный грунтовый массив уплотняется и вокруг зарядной камеры образуется камуфлетная полость в виде неправильной сферы.

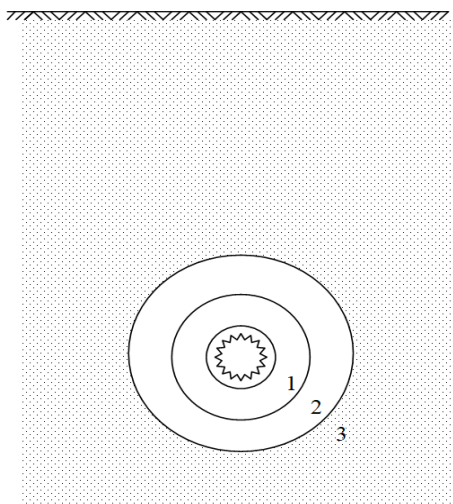


Рис. 1. Напряженно-деформированное состояние массива вокруг очага камуфлетного взрыва скважинного заряда ВВ

ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В зоне 1 максимальное давление при прохождении волны напряжения достигает величин, при которых по данным лабораторных испытаний образцов отмечаются заметные объемные деформации. Внутреннюю часть зоны 1

составляет область, где грунты достигают предельного уплотнения, т.е. имеет место полное закрытие свободных пор. Согласно работы [5] размеры этой области в достаточно влажных грунтах может быть значительными и корка в данном случае составит заметную часть зоны 1. В сухих грунтах область предельного уплотнения вырождается в тонкую корку у границы полости. Напряженное состояние, которое имеет место в зоне 2, отвечает необратимому пластическому деформированию. Во время испытаний образцов при таком напряженном состоянии не отмечается заметного изменения полости. В зоне 3 напряженное состояние отвечает обратимому деформированию. Полная разгрузка бывает лишь в пределах внутренней рассеченной трещинами части зоны 1. Необратимое радиальное перемещение частиц грунта и деформирование переместившихся элементарных объемов препятствуют обратному движению и восстановлению первоначальной камуфлетной полости. В результате необратимая объемная деформация имеет место в пределах зоны 2 и частично даже в зоне 3.

При уплотнении мягких пород камуфлетными взрывами скважинных зарядов ВВ основное изменение структуры грунта происходит в зоне действия преимущественно ударных волн. Результаты исследования параметров ударных волн в воде подробно приведены в работе [6], а в водонасыщенных грунтах – [7].

Наиболее существенными параметрами взрывных волн являются максимальное давление, скорость распространения, время действия и импульс взрывной волны. Величина импульса взрывной волны определяется по формуле:

$$I = \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt, \quad (1)$$

где $p(t)$ – изменяющееся во времени давление взрывной волны.

Зависимости для определения параметров ударных волн, полученные экспериментальным путем при взрыве сосредоточенных зарядов в воде, имеют вид

$$p_{\max} = 53,3(\sqrt[3]{Q/R})^{1,13}; \quad (2)$$

$$I = 0,0059\sqrt[3]{Q}(\sqrt[3]{Q/R})^{0,89}, \quad (3)$$

где p_{\max} – максимальное давление, МПа; Q – масса заряда ВВ, кг; R – расстояние от центра заряда, м; I – импульс, МПа·с.

Исследованиями [8, 9] установлено, что на параметры взрывных волн существенное влияние оказывает содержание газа. В общем случае водонасыщенный грунт представляет собой трехкомпонентную систему – твердые частицы, вода и газ. В водонасыщенных грунтах газ может содержаться в виде адсорбированного минеральной частью, растворенного в воде и свободного. Количество адсорбированного газа в достаточно чистых несвязных грунтах невелико, вследствие чего он не оказывает заметного влияния на свойства грунта. Содержание растворенного газа сказывается на сжимаемости поровой воды. Основное влияние на физико-механические свойства несвязных водонасыщенных грунтов оказывает свободный газ, находящийся в грунте в виде отдельных пузырьков.

По результатам многочисленных опытов [9] получены зависимости для определения максимального давления и импульса камуфлетного скважинного заряда ВВ в виде:

$$P_{\max} = k_1 (\sqrt[3]{Q/R})^{\mu_1}; \quad (4)$$

$$I = k_2 \sqrt[3]{Q} (\sqrt[3]{Q/R})^{\mu_2} \quad (5)$$

где Q – масса камуфлетного скважинного заряда ВВ, кг; R – расстояние от центра камуфлетного скважинного заряда ВВ, м; P_{\max} – максимальное давление, МПа; I – величина импульса ударной взрывной волны, МПа·с; k_1 – коэффициент, учитывающий передачу энергии от камуфлетного скважинного заряда ВВ в максимальную ударную волну; k_2 – коэффициент, учитывающий передачу энергии от камуфлетного скважинного заряда ВВ в величину импульса ударной волны.

Значения эмпирических коэффициентов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика грунта	Содержание газа s, %	Влажность w, %	k_1	μ_1	k_2	μ_2
Песок ниже горизонта грунтовых вод	0	-	60,0	1,05	0,008	1,05
То же	0,05	-	45,0	1,5	0,0075	1,1
"	1	-	25,0	2,0	0,0045	1,25
"	4	-	4,5	2,5	0,004	1,4

Радиус камуфлетной полости скважинного заряда ВВ определяется по формуле [10]:

$$R_k = R_э \sqrt{\rho} \Pi_\phi^\alpha, \quad (6)$$

где Π_ϕ – показатель простреливаемости, $\text{дм}^3/\text{кг}$; α – коэффициент, учитывающий свойство ВВ:

$$\alpha = \sqrt{\frac{Q\rho}{Q_0\rho_0}}, \quad (7)$$

где Q, ρ – теплота взрыва и плотность применяемого ВВ; Q_0, ρ_0 – соответственно для аммонита 6ЖВ; $R_э$ – эквивалентный радиус скважинного заряда ВВ, м.

Значения показателя простреливаемости мягких пород по данным [11] приведена в табл. 2.

Таблица 2

Значения показателя простреливаемости

Горная порода	Классификация грунтов и пород по СНиПу	Пределы показателя простреливаемости
Глина пластичная моренная	II	900...1400
Глина черная	III	400...600
Глина моренная	III	220...530
Глина желто-бурая жирная	III	220...270
Глина темно-красная жирная	III	170...250
Мергель мягкий трещиноватый	IV	100...170
Мергель мягкий сильно трещиноватый	IV	180...280
Глина ломовая темно-синяя	IV	100...150
Суглинок тяжелый, глина песчанистая	IV	70...190
Мел мягкий, известняк ракушечник	V	35...65
Мергель средней крепости, доломит мергlistый, известняк мелкий сильно трещиноватый	V-VI	около 20

В результате теоретических исследований по формулам (4) и (5) определены максимальное давление и импульс в зависимости от массы и

расстояния от центра камуфлетного скважинного заряда ВВ, гиперболические зависимости которых приведены на рис. 2-5.

Полученная зависимость, которая приведена на рис. 2, показывает, что с увеличением массы камуфлетного скважинного заряда ВВ от 2 до 10 кг максимальное давление импульса увеличивается и составляет, соответственно, 0,1796 и 0,2840 МПа.

Исследованиями также установлено, что с увеличением расстояния от очага взрыва от 2 до 10 м максимальное давление импульса снижается и составляет, соответственно, 0,3810 и 0,1856 МПа, которые приведены на рис. 3.

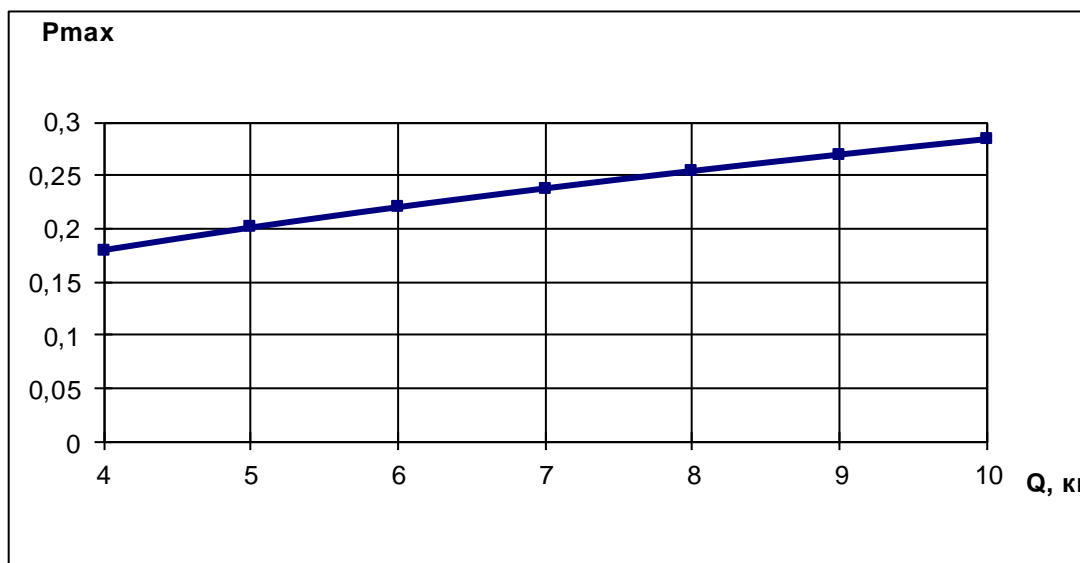


Рис. 2. Зависимость максимального давления взрывной волны камуфлетного скважинного заряда ВВ от его массы

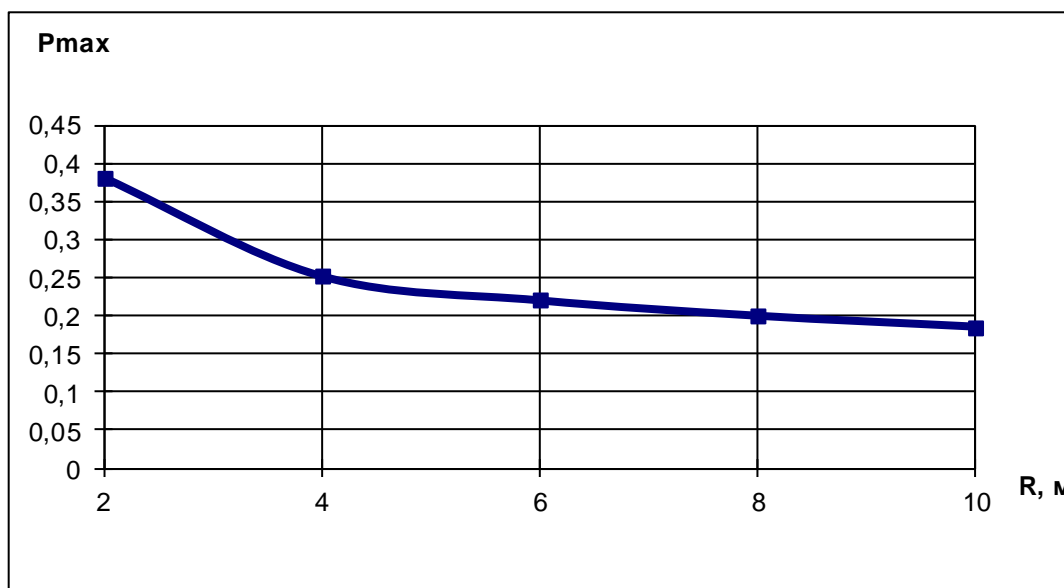


Рис. 3. Зависимость максимального давления взрывной волны камуфлетного скважинного заряда ВВ от расстояния от очага взрыва

В результате экспериментальных исследований получены зависимости величины импульса взрывной волны камуфлетного скважинного заряда ВВ от массы заряда и расстояния от очага взрыва, которые показаны на рис. 4 и 5.

Полученная зависимость, которая приведена на рис. 4, показывает, что с увеличением массы камуфлетного скважинного заряда от 2 до 10 кг величина импульса возрастает, соответственно, от 0,010 до 0,019 МПа·с. Полученная зависимость характеризуется зависимостью линейного типа.

Исследованиями также установлено, что с увеличением расстояния от очага взрыва от 2 до 10 м величина импульса камуфлетного скважинного заряда ВВ снижается и, соответственно, равно 0,020 и 0,011 МПа·с. Полученная зависимость характеризуется зависимостью параболического типа.

В результате теоретических исследований получены зависимости радиуса камуфлетной полости взрыва скважинного заряда ВВ от эквивалентного радиуса и показателя простреливаемости заряда ВВ, которые показаны на рис. 6 и 7.

Полученная зависимость, которая приведена на рис. 6 показывает, что с увеличением эквивалентного радиуса скважинного заряда ВВ от 0,07 до 0,12 м величина радиуса камуфлетной полости возрастает, соответственно, от 0,45 до 0,76 м. Полученная зависимость характеризуется зависимостью линейного типа.

Исследованиями также установлено, что с увеличением показателя простреливаемости скважинного заряда ВВ от 0,1 до 0,35 м³/кг величина радиуса камуфлетной полости также возрастает и составляет 0,33 и 1,08 м (рис. 7). Полученная зависимость характеризуется зависимостью линейного типа.

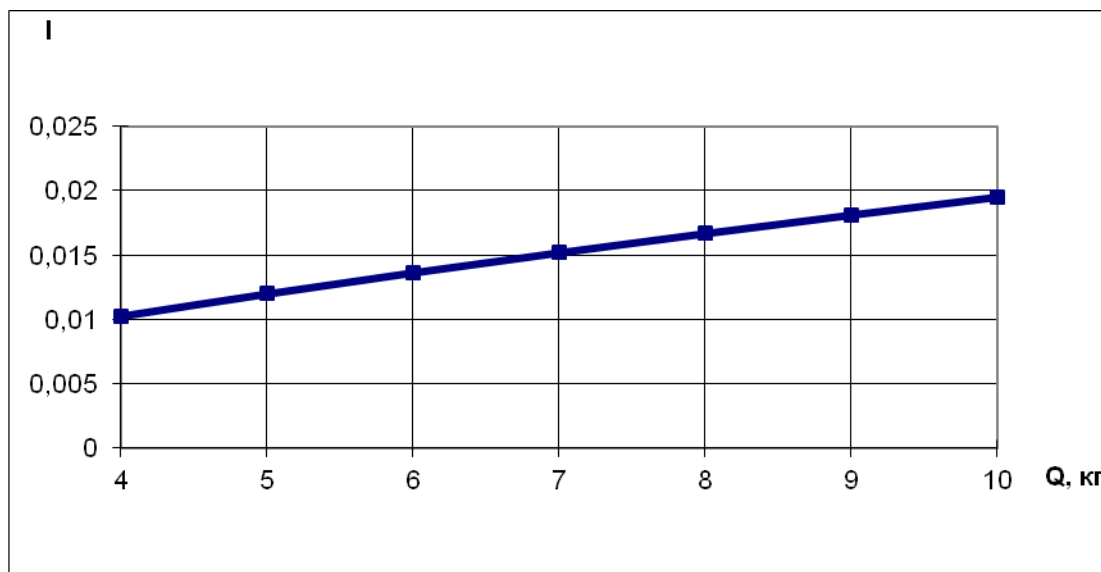


Рис. 4. Зависимость величины импульса взрывной волны камуфлетного скважинного заряда ВВ от массы заряда

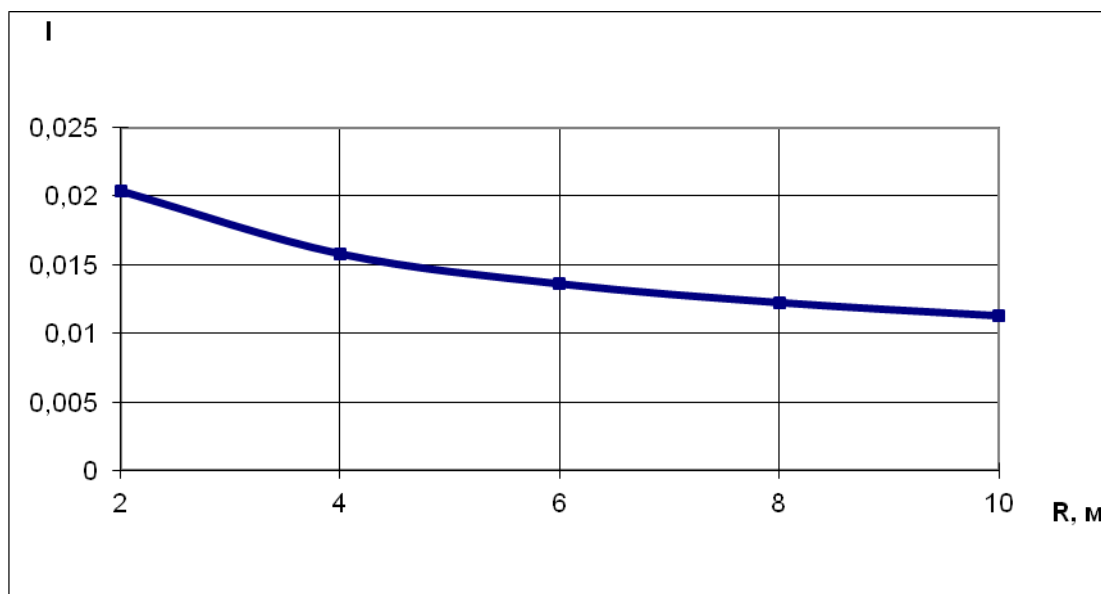


Рис. 5. Зависимость величины импульса взрывной волны камуфлетного скважинного заряда ВВ от расстояния от очага взрыва

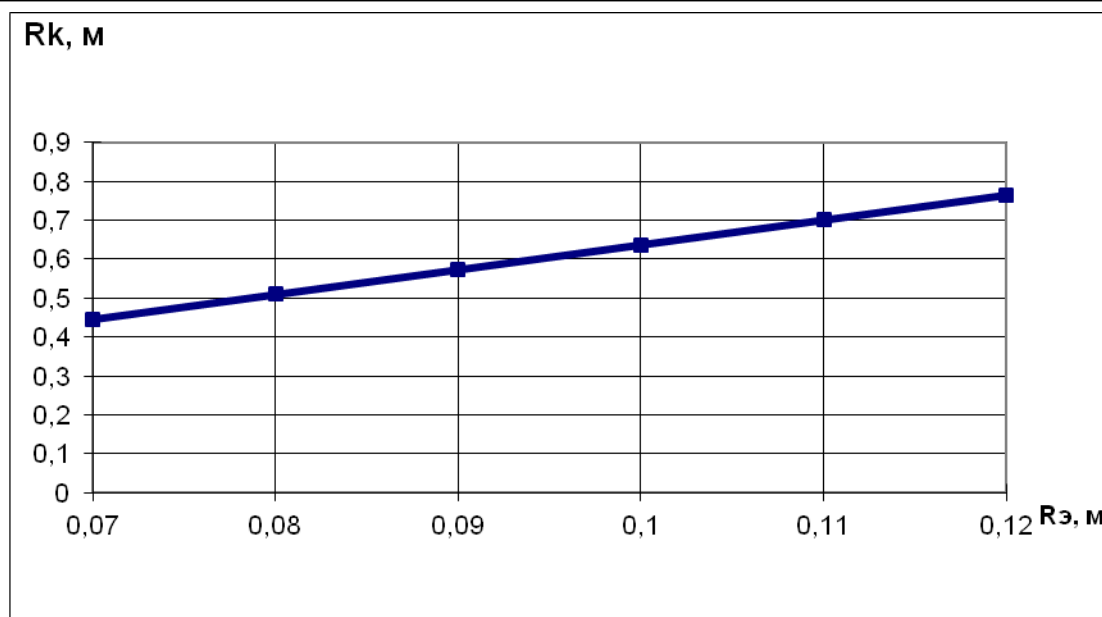


Рис. 6. Зависимость радиуса камуфлетной полости от эквивалентного радиуса

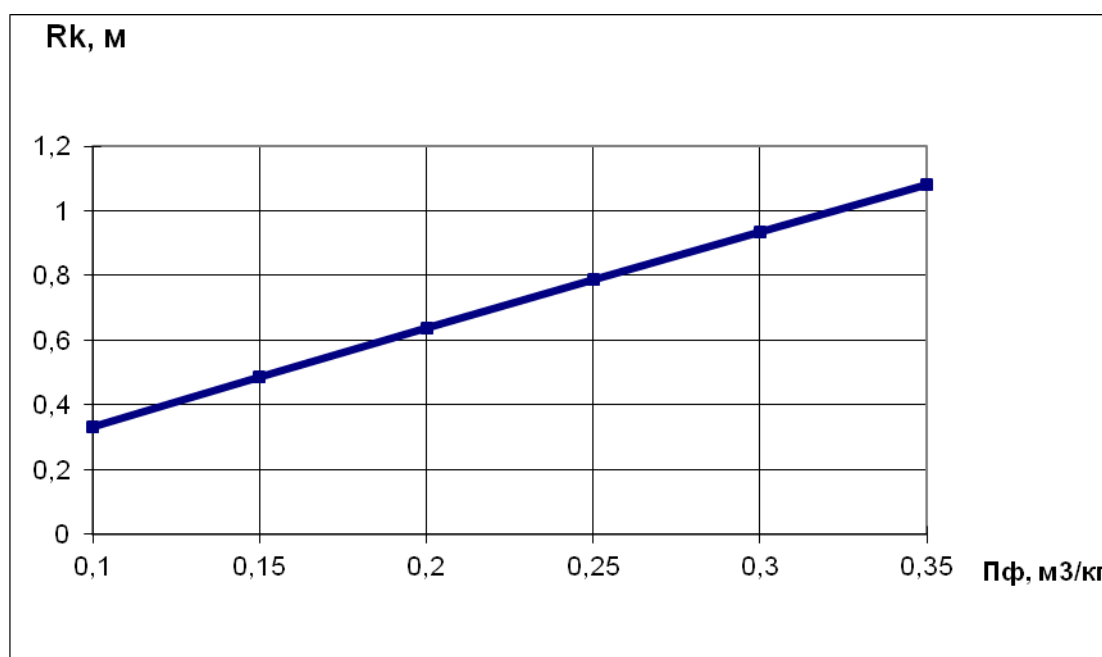
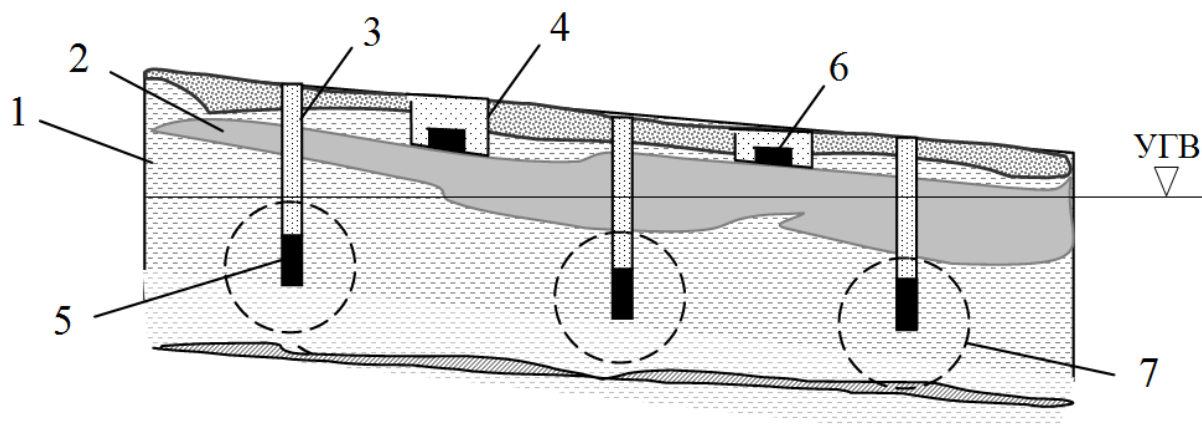


Рис. 7. Зависимость радиуса камуфлетной полости от показателя простреливаемости

В результате проведенных исследований разработан способ образования протяженных выемок в неустойчивых грунтах взрывом камуфлетных и скважинных зарядов ВВ, включающий нарезание пары центральных щелей и боковых скважин, размещение зарядов ВВ и взрывание (рис. 8).

В боковые скважины закладывают камуфлетный заряд на глубину ниже уровня грунтовых вод в мягких породах. Производят забойку и взрывают с порядным замедлением 25 мс. На следующий день осуществляют основной взрыв щелевых зарядов ВВ.

Образуемая камуфлетная полость обеспечивает отток грунтовых вод массива.



1 – мягкие породы; 2 – крепкий пропласток; 3 – скважина; 4 – щель; 5 – камуфлетный заряд ВВ; 6 – щелевой заряд ВВ; 7 – камуфлетная полость; УГВ – уровень грунтовых вод

Рис. 8. Способ образования протяженных выемок в неустойчивых грунтах взрывом камуфлетных и скважинных зарядов ВВ

Таким образом, по разработанному способу взрывания с использованием щелевых и камуфлетных скважинных зарядов ВВ обеспечивается эффективность образования протяженных выемок в неустойчивых грунтах.

Для оценки условий наибольшего разрушения структуры разжижения и последующего уплотнения проведены глубинные взрывы зарядов различной массы на разных глубинах заложения с целью выбора их оптимальных параметров.

Установлено, что наибольший эффект уплотнения мягких пород получается при зарядах, близких по эффекту максимальному камуфлету, так как при этом наибольшая часть энергии используется на разрушение структуры

грунта. При глубине 5 м и массе заряда ВВ 6 кг получается максимальный камуфлет взрыва. При меньшей глубине заложения заряда ВВ происходит разрыхление грунта или образуются воронки выброса, что не допустимо при уплотнениях в мягких породах.

С увеличением глубины заложения ВВ сверх максимального камуфлета уменьшается возможность разрушения структуры грунта вследствие увеличения сжимающих напряжений в скелете грунта под действием его веса по сравнению с действующими нагрузками при взрыве.

В результате проведенных исследований получен эмпирический коэффициент для супеси, суглинка и грунта, значения которого приведены в табл. 3.

Таблица 3

Наименование пород	мягких	Степень плотности	Коэффициент
Супесь		0-0,2	5
Суглинок		0,3-0,4	4
Грунт		0,4-0,5	3

Исследованиями установлены: обобщающая закономерность размеров зоны проработки, изменение радиуса эффективного действия взрыва и глубины уплотнения грунта в виде зависимости параболического типа с показателем $1/3$ от массы зарядов ВВ и их глубины заложения, обеспечивающая максимальный камуфлет взрыва и эффект уплотнения.

Абсолютные значения результатов экспериментальных исследований приведены табл. 4-6.

Таблица 4

Результаты измерений величины радиусов эффективного действия взрыва в зависимости от массы камуфлетного скважинного заряда ВВ и глубины их заложения для грунтов со степенью плотности 0,4-0,5

Масса заряда ВВ Q, кг	Глубина заложения заряда ВВ h, м	Глубина уплотнения h _{уп} , м	Радиус эффективного действия взрыва Rэ, м
2	3,0	5,0	3,8
4	4,0	6,5	4,8

6	5,0	7,0	5,8
8	5,6	8,2	6,2
10	6,0	9,0	6,5
12	6,2	9,5	6,7
14	6,5	9,7	6,8
16	6,6	10,0	7,0

Таблица 5

Результаты измерения величины радиусов эффективного действия взрыва в зависимости от массы камуфлетного скважинного заряда ВВ и глубины их заложения для суглинков со степенью плотности 0,3-0,4

Масса заряда ВВ Q, кг	Глубина заложения заряда ВВ h, м	Глубина уплотнения h _{уп} , м	Радиус эффективного действия взрыва Rэ, м
2	3,0	5,0	5,0
4	4,0	6,5	6,5
6	5,0	7,0	7,2
8	5,6	8,2	8,0
10	6,0	9,0	8,8
12	6,2	9,5	9,0
14	6,5	9,7	9,5
16	6,6	10,0	10,0

Таблица 6

Результаты измерения величины радиусов эффективного действия взрыва в зависимости от массы камуфлетного скважинного заряда ВВ и глубины их заложения для супесей со степенью плотности 0-0,2

Массы заряда ВВ Q, кг.	Глубина заложения заряда ВВ h, м.	Глубина уплотнения h _{уп} , м.	Радиус эффективного действия взрыва Rэ, м.
2	3,0	5,0	6,0
4	4,0	6,5	8,0

6	5,0	7,0	9,0
8	5,6	8,2	10,0
10	6,0	9,0	11,0
12	6,2	9,5	11,5
14	6,5	9,7	12,0
16	6,6	10,0	12,5

Полученные результаты показывают, что с увеличением глубины заложения заряда от 3 до 6 м масса заряда ВВ, обеспечивающая максимальный камуфлет взрыва и эффект уплотнения, возрастает от 6 до 7,3 кг. Радиус эффективного действия взрыва при этом увеличивается, соответственно, от 4,5 до 5,5 м для грунтов со степенью плотности 0,4-0,5; от 6 до 7,3 м для суглинков со степенью плотности 0,3-0,4 и от 7,0 до 9,0 м для супесей со степенью плотности 0-0,2.

ВЫВОДЫ

1. Исследовано напряженно-деформированное состояние массива вокруг очага камуфлетного скважинного заряда ВВ. Установлено, что под воздействием свободных продуктов взрыва формируется ударная волна, энергия которой равномерно передается во все стороны массива.

2. На основе использования законов газодинамики определены максимальное давление, импульс и радиус камуфлетной полости в мягких породах в зависимости от массы заряда ВВ и расстояния от очага взрыва.

3. Разработан способ образования протяженных выемок в неустойчивых грунтах взрывом камуфлетных и скважинных зарядов ВВ, обеспечивающего эффективность образования протяженных выемок в неустойчивых грунтах.

4. Разработана методика определения радиусов зон уплотнения и радиуса эффективного действия взрыва в зависимости от массы заряда ВВ и их глубины заложения, обеспечивающая максимальный камуфлет взрыва и эффект уплотнения.

5. Исследованиями установлена обобщающая параболическая зависимость изменения радиусов зон уплотнения и радиуса эффективного действия взрыва в мягких породах с показателем $1/3$ от массы камуфлетного скважинного заряда ВВ и глубины их заложения, обеспечивающая максимальный камуфлет взрыва и эффект уплотнения.

REFERENCES

1. Покровский Г.И., Феодоров И.С. Действия удара и взрыва в деформируемых средах. Изд. 2. – М., 2017. – 276 с.
2. Родионов В.Н., Адушкин В.В. и др. Механический эффект подземного взрыва. – М.: «Наука», 1986. – 285 с.
3. Ханукаев А.Н. Физические процессы при отбойке горных пород взрывом. Изд. 2-е. М.: «Недра», 2014. – 224 с.
4. Суханов А.Ф., Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом. Изд. 4-е. – М.: «Недра», 2003. – 334 с.
5. Вовк А.А., Черный Г.И., Кравец В.Г. Действие взрыва в грунтах. – Киев: «Наукова думка», 1994.
6. Иванов П.Л. Уплотнение малосвязных грунтов взрывами. – М.: Недр, 2013. – 230 с.
7. Маслов Н.Н. Условия устойчивости водонасыщенных песков. – М.: Госэнергоиздат, 2009.
8. Ляхов Г.М. Ударные волны в грунте и разжижение в водонасыщенном песке // Прикладная механика и техническая физика. – Москва, 1961. – №1. – С. 5-10.
9. Ляхов Г.М. Основы динамики взрывных волн в грунтах и горных породах. – М.: «Недра», 1994. – 192 с.
10. Дорфман А.А., Левин Б.В. Научные сообщения. Выпуск 230. – М., ИГД им. А.А.Скочинского, 1984. – С. 66-72.
11. Авдеев Ф.А., Барон В.Л., Гуров Н.Ф., Контор В.Х. Нормативный справочник по буровзрывным работам. 7-е издание. – М., 2016. – 511 с.
12. Norov, Y., Karimov, Y., Latipov, Z., Khujakulov, A., & Boymurodov, N. (2021). Research of the parameters of contour blasting in the construction of underground mining works in fast rocks. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1030, No. 1, p. 012136). IOP Publishing.
13. Нурхонов, Х. А. У., Хужакулов, А. М., & Боймуродов, Н. А. (2022). Проектирование параметров контурного взрывания. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 2(Special Issue 4-2), 825-832.