

УДК 624.132.23 + 622.235

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗОНЫ ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА ЗАРЯДА В ЛЕССОВЫХ ГРУНТАХ

О. А. ВОВК

Национальный Технический Университет Украины "КПИ", Киев

Получено 10.10.2001

Рассмотрен метод определения зон влияния взрыва заряда в маловлажных лессовых грунтах по их динамическим характеристикам – скорости распространения продольных и поперечных волн. Для учета свойств лессовых грунтов использованы корреляционные связи между плотностью скелета грунта $\gamma_{ск}$ и скоростью поперечных волн V_s , между влажностью W и скоростью продольных волн V_p , полученные в виде коэффициентов связи для лессов Средней Азии влажностью до 10 %. Приводятся рекомендации по расположению сетки скважин при взрывной обработке просадочных лессовых маловлажных массивов.

Розглянуто метод визначення зон впливу вибуху заряду в маловологих лесових грунтах за їх динамічними характеристиками – швидкості поширення поздовжніх та поперечних хвиль. Для врахування властивостей лесових ґрунтів використано кореляційні зв'язки між густиною скелету ґрунту $\gamma_{ск}$ та швидкістю поперечних хвиль V_s , між вологістю W та швидкістю поздовжніх хвиль V_p , які отримано у вигляді коефіцієнтів зв'язку для лесів Середньої Азії вологістю до 10 %. Приведені рекомендації щодо розташування свердловин при вибуховій обробці просадочних лесових маловологих масивів.

In article the method of definition of zones of influence of explosion of a charge in loessial bottoms on their dynamic characteristics is considered. Correlative ties among density of skeleton of soil $\gamma_{ск}$ and velocity of transverse waves V_s and among humidity W and velocity of longitudinal waves V_p , which were received as ties factors for loessial soils of Middle Asia ($W \leq 10\%$) were used for reckoning of characteristics of loessial soils. Recommendations for an arrangement of a grid of chinks are resulted at explosive processing strongly deformed loessial dry files.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее эффективных методов обработки лессовых грунтов под основания сооружений является замачивание до влагонасыщенности 0.6 – 0.8 с последующим взрыванием в массиве зарядов различной конструкции (сосредоточенные цилиндрические) и ориентации (вертикальные цилиндрические, горизонтальные, траншейные).

В статье предлагается вариант взрывного метода ликвидации просадочности лессовых маловлажных массивов без предварительного замачивания, что упрощает технологию взрывания и сокращает время на подготовку основания. Расчет параметров зоны дробления (полости), зоны уплотнения предлагается выполнять с учетом таких важнейших характеристик грунтов, как плотность скелета и влажность, которые связаны коэффициентами корреляции со скоростями продольных и поперечных волн.

Лессовые породы обладают рядом особенностей. Поэтому строительство зданий и сооружений на них порождает ряд специфических проблем, связанных с прогнозированием поведения этих грунтов в качестве оснований. Особо опасны проявления остаточной просадочности при плохо обработанном основании.

Главной технологической задачей при подготовке лессовых оснований под фундаменты сооруже-

ний является доведение грунта до разделения агрегатов за счет разрушения слабых структурных элементов, которые консолидируются в плотные мало сжимаемые пласты. В настоящей работе рассматривается ее решение для лессовых грунтов большой мощности при малых значениях влажности путем предварительной взрывной обработки скважинными зарядами с последующим кратковременным замачиванием.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ГРУНТОВ

Лессы и лессовые породы имеют ряд особенностей, из-за которых они выделяются среди других осадочных образований. Одним из их характерных свойств является относительно большая однородность и преимущественно алевритовый состав, т.е. преобладание частиц диаметром 0.01 – 0.05 мм, в них также присутствует определенное количество (5 – 30 %) глинистых частиц $d < 0.005$ мм. Высокая пористость, агрегатная структура с четко выраженной ориентацией макропор и капилляров, определяющих фильтрационную и прочностную анизотропию, растворимость солей, скрепляющих отдельные агрегатные элементы, обуславливают высокую просадку грунтового массива под воздействием влаги либо механических усилий. По свойствам просадочности (осадкам поверхности) в Украине лессовые грунты

подразделяются на два типа: 1 – до 0.05 м, 2 – более 0.05 м. Второй тип подразделяется на слабопросадочные (до 0.15 м), среднепросадочные (от 0.16 до 0.5 м) и сильнопросадочные (более 0.5 м) грунты. Характер и масштабы просадочности находятся в зависимости, в первую очередь, от грансостава, влажности и объемного веса скелета. Так, лессы с объемным весом скелета 1.2 – 1.4 с коагуляционно-кристаллизационными структурными связями (преимущественно агрегативными) имеют просадку $\delta_{пр} = 9 - 14 \%$, эоловые, пролювиальные и смешанные по гранулометрическому составу лессы и лессовые породы плотностью скелета 1.34 – 1.46 г/см³ обладают просадочностью $\delta_{пр} = 3 - 9 \%$, пластифицированно-коагуляционные объемным весом скелета 1.46 – 1.65 г/см³ лессовые породы уже относятся к малопросадочным ($\delta_{пр} < 3 \%$). Не менее важна роль влажности. При природной влажности породы менее 8 – 10 % в ней сохраняется первоначальная микростратиграфия. Поэтому порода обладает сильно развитыми просадочными свойствами. При влажности более 10 % благодаря миграции соединений, растворимых в воде, имеет место "размазывание" микростратиграфии, потеря морфологического облика с переходом в зернистое состояние, следствием чего является относительное уменьшение показателя просадочных свойств по мере возрастания влажности.

До настоящего времени взрывные методы ликвидации просадочных свойств включали в себя процесс предварительного замачивания до полного влагонасыщения (степень влажности 0.8) с последующим динамическим воздействием глубинными взрывами для ускорения консолидации прочных элементов агрегатов. Другим аналогичным способом является предварительное замачивание до степени влажности 0.6 и последующее взрывание скважинных зарядов с формированием вертикальных полостей и заполнением их падающим сверху мало сжимаемым материалом [4].

Таким образом, межполосное пространство уплотняется за счет вытесненного взрывом грунта и совместно с заполнителем полостей преобразуется в мало сжимаемую с минимальной просадочностью систему. Однако ни одна из этих схем и их разновидностей (за счет формы заряда или места его расположения) не может считаться приемлемой при обработке маловлажных массивов. Известно, что при малых значениях влажности порядка (5 – 7 %) лессовый грунт в пределах деформированной взрывом зоны обрушивается в образуемую в нижней части массива полость в разуплотненном виде. С увеличением влажно-

сти более 9 – 10 % образованная полость может не обрушиться (до известных пределов ее размеров). Это связано с тем, что влага, помимо растворения минеральных солей, придает грунту пластические свойства, что способствует снижению трения между частицами скелета, измельчаемого динамической нагрузкой с уменьшением сопротивления грунта деформированию. В ряде литературных источников отмечается, что в сухих лессах с весовой влажностью 6 – 7 % и пористостью 0.53 % при взрывании имеет место полное разрушение структурных связей с превращением лесса в несвязную массу плотностью на 12 – 15 % выше первоначальной. Внешняя граница полного разрушения отстоит на расстоянии 8 – 9 радиусов заряда. Далее, вокруг этой зоны грунт на некотором расстоянии от стенки находится в частично уплотненном состоянии (на 5 – 10 %) и разбит радиальными и кольцевыми трещинами.

Для практических целей наибольший интерес представляет картина деформированного грунта вокруг взрываемого заряда. Размеры этой зоны служат исходным материалом для проектирования технологии уплотнения массива.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ ВЗРЫВА В ЛЕССОВЫХ МАЛОВЛАЖНЫХ ГРУНТАХ

В соответствии с общей теорией подобия и размерностей радиус r любой зоны действия взрыва пропорционален радиусу заряда или корню кубического от его веса Q_3 , т.е.

$$r = K \sqrt[3]{Q_3}. \quad (1)$$

Здесь коэффициент пропорциональности K является интегральным показателем свойств грунта, взрывчатого вещества, способа взрывания и т.п. В зависимости от конкретных технологических требований для конкретных условий он подбирается по аналогии или определяется экспериментально.

Рассматривая задачу определения закономерностей действия взрыва в лессах, В.Н. Мосинец [1] различает четыре характерных зоны с различным характером остаточного деформационного состояния:

- 1) зона дробления (при определенной влажности это может быть полость);
- 2) зона трещин, главным образом радиальных;
- 3) зона наибольших сдвиговых деформаций, обуславливающих максимальное смыкание кольцевых и радиальных трещин, в практических расчетах

эти две зоны могут быть объединены;

4) зона упругости, начало которой характеризуется завершением необратимых деформаций, т.е. радиус этой зоны представляет собой внешний радиус зоны уплотнения.

В качестве факторов, оценивающих коэффициент пропорциональности K , В. Н. Мосинцом приняты динамические параметры грунта – скорости продольных V_p и поперечных V_s волн, которые в предлагаемом им сочетании очевидно косвенно учитывают и другие свойства (влажность, пористость и т.п.).

Итак, согласно В. Н. Мосинцу, выражения для определения выше названных зон влияния имеют вид:

$$r_{э,др} = \sqrt{(V_s/V_p)} \cdot \sqrt[3]{Q_{ВВ}}, \quad (2)$$

$$r_{тр} = \sqrt{(V_s/V_p)} \cdot \sqrt[3]{Q_{ВВ}}, \quad (3)$$

$$r_{maxт} = 0.1 \cdot \sqrt{V_s} \cdot \sqrt[3]{Q_{ВВ}}, \quad (4)$$

$$r_{э,у} = 0.1 \cdot \sqrt{V_p} \cdot \sqrt[3]{Q_{ВВ}}. \quad (5)$$

Недостатком этих данных является сложность определения показателей, входящих в формулы, их нестабильность, затрудняющая сопоставление параметров для различных регионов. Так, в глинистых лессах и лессах естественного сложения скорость продольных волн по данным А. А. Кузьменко изменяется от 300 до 1000 м/с, а поперечных – от 100 до 700 м/с. Согласно [3], в условиях Средней Азии на основе многочисленных замеров приводятся такие данные: $V_p = 450 - 630$ м/с, $V_s = 260 - 340$ м/с; В. Н. Мосинец [1] приводит для лессов значения этих показателей соответственно 600 и 400 м/с.

При этом влияние таких характеристик, как влажность и плотность скелета грунта, если и учитываются через динамические показатели, то в неявной форме. Не находит своего отражения и такой важный фактор, как масштаб взрыва, а также свойства применяемых взрывчатых веществ.

Учитывая сказанное, автор предлагает в формулах (2)–(5) коэффициент пропорциональности выражать через коэффициенты связи [3] между скоростями продольных и поперечных волн, влажностью и объемным весом скелета $V_p = V_p(W)$ и $V_s = V_s(\gamma_{ск})$ в диапазонах, наиболее соответствующих значений применительно к нашим задачам взрывной обработки маловлажных лессовых массивов плотностью скелета 1.32–1.5 г/см³ и влажностью до 10 %. Тогда выражения (2)–(5) запишутся в виде:

$$r_{э,др}^{сФ} = A_1 \cdot \sqrt[3]{Q_{ВВ}} \quad (6)$$

$$\text{или} \quad r_{э,др}^{сФ} = A_2 \cdot r_{э}, \quad (7)$$

$$r_{тр}^{сФ} = C_1 \cdot \sqrt[3]{Q_{ВВ}}, \quad (8)$$

$$r_{maxт}^{сФ} = D_1 \cdot \sqrt[3]{Q_{ВВ}}, \quad (9)$$

$$r_{э,у}^{сФ} = B_1 \cdot \sqrt[3]{Q_{ВВ}} \quad (10)$$

$$\text{или} \quad r_{э,у}^{сФ} = B_2 \cdot r_{э}, \quad (11)$$

где

$$A_1 = 7.54 \sqrt{\frac{\gamma_{ск} - 1.19}{30 - W}}; A_2 = 142.26 \sqrt{\frac{\gamma_{ск} - 1.19}{30 - W}};$$

$$C_1 = 0.133 \sqrt{\frac{30 - W}{\gamma_{ск} - 1.19}};$$

$$D_1 = 0.1 \sqrt{\frac{\gamma_{ск} - 1.19}{0.000475}};$$

$$B_1 = 0.1 \sqrt{\frac{30 - W}{0.027}}; B_2 = 1.89 \sqrt{\frac{30 - W}{0.027}}.$$

Результаты расчетов параметров зон действия зарядов в исследуемых диапазонах значений свойств пород приводятся в табл. 1 и 2.

При расчетах деформаций от взрывов цилиндрических зарядов соотношение (1) запишется в виде

$$r^u = K \cdot K_c^u \sqrt{Q_{пог}} \quad (12)$$

и в формулы (6)–(9) необходимо ввести этот коэффициент симметрии K_c^u .

Кроме того, известно, что принцип геометрического подобия хорошо выдерживается лишь при взрывании относительно небольших зарядов, а с ростом масштаба взрыва требуется введение поправочного коэффициента K_M . На основе статистической обработки большого количества взрывов вертикальных цилиндрических зарядов с получением полостей в диапазоне диаметров от 0.95–1.0 до 3.5–4 м получено значение этого коэффициента в зависимости от радиуса заряда следующего вида:

$$K_M = 1.04 - 1.41 \cdot r^3. \quad (13)$$

Принимая соотношение между погонным весом цилиндрического заряда и его радиусом в виде $r_{э} = 0.02 \sqrt{Q_{пог}}$, формулу (6) преобразуем к виду

Табл. 1. Значения коэффициента пропорциональности в формуле (6) в зависимости от влажности и плотности грунта при сферических взрывах

Коэффициенты A_i	$\gamma, \text{ г/см}^3$	Влажность $W, \%$							
		5	6	7	8	9	10	11	12
A_1	1.32	0.544	0.555	0.567	0.58	0.593	0.608	0.626	0.641
	1.34	0.58	0.596	0.603	0.623	0.637	0.653	0.67	0.688
	1.35	0.6	0.615	0.629	0.643	0.658	0.674	0.692	0.71
	1.36	0.618	0.635	0.648	0.663	0.678	0.695	0.713	0.733
	1.38	0.657	0.671	0.685	0.701	0.717	0.735	0.754	0.775
	1.40	0.691	0.705	0.72	0.735	0.754	0.773	0.792	0.814
	1.42	0.723	0.738	0.754	0.77	0.789	0.808	0.829	0.852
	1.44	0.754	0.769	0.786	0.803	0.822	0.843	0.864	0.888
	1.46	0.78	0.799	0.817	0.835	0.855	0.876	0.898	0.923
	1.50	0.83	0.857	0.875	0.895	0.916	0.939	0.963	0.989
	1.65	1.03	1.044	1.066	1.09	1.116	1.143	1.173	1.205
A_2	1.32	10.243	10.47	10.67	10.94	11.19	11.47	11.77	12.09
	1.34	11.01	11.25	11.49	11.75	12.02	12.32	12.64	12.98
	1.35	11.38	11.62	11.87	12.13	12.42	12.72	13.05	13.41
	1.36	11.73	11.97	12.23	12.5	12.8	13.12	13.45	13.82
	1.38	12.4	12.65	12.92	13.22	13.53	13.86	14.23	14.62
	1.4	13.04	13.3	13.59	13.89	14.23	14.57	14.95	15.36
	1.42	13.65	13.92	14.23	14.54	14.88	15.25	15.65	16.08
	1.44	14.23	14.52	14.83	15.16	15.52	15.9	16.31	16.76
	1.46	14.78	15.08	15.41	15.76	16.13	16.53	16.95	17.42
	1.5	15.84	16.17	16.52	16.88	17.28	17.71	18.17	18.67
	1.65	19.3	19.69	20.12	20.57	21.05	21.57	22.13	22.74

Табл. 2. Зависимость величины радиуса зоны необратимых деформаций от влажности грунта

Параметр	Влажность $W, \%$									
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$r_{\text{з.др.}}^{\text{сф.}} \quad \Phi.(10)$	3.04	2.98	2.92	2.85	2.79	2.72	2.65	2.58	2.51	2.43
$r_{\text{з.др.}}^{\text{сф.}} \quad \Phi.(11)$	57.5	56.3	55.16	54	52.7	51.42	50.14	48.8	47.42	46.0
$r_{\text{з.др.}}^{\text{н.}} \quad (\text{по}[4])$	72.6	72	71.4	70.8	70.2	69.6	69	68.4	67.8	67.2
$r_{\text{з.у.}} \quad \Phi.(5)$										2.4

$$r_{\text{н}}^{\text{н}} = 377 K_{\text{М}} \cdot K_{\text{с}}^{\text{н}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{\text{ск}} - 1.19}{30 - W}} \cdot r_{\text{з}}^{\text{н}}, \quad (14)$$

$$r_{\text{тр}}^{\text{н}} = 2.66 K_{\text{М}} \sqrt{\frac{30 - W}{\gamma_{\text{ск}} - 1.19}} \cdot r_{\text{з}}. \quad (17)$$

$$r_{\text{мастр}}^{\text{н}} = 5 K_{\text{М}} \cdot K_{\text{с}}^{\text{н}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{\text{ск}} - 1.19}{0.000475}} \cdot r_{\text{з}}^{\text{н}}, \quad (15)$$

$$r_{\text{з.у.}}^{\text{н}} = 5 K_{\text{М}} \cdot K_{\text{с}}^{\text{н}} \cdot \sqrt{\frac{30 - W}{0.027}} \cdot r_{\text{з}}^{\text{н}}, \quad (16)$$

радиус зон трещин $r_{\text{тр}}^{\text{н}}$ запишется в виде

Здесь $K_{\text{с}}^{\text{н}}$ – коэффициент симметрии; $r_{\text{н}}^{\text{н}}$ практически в верхней части массива будет выражать величину радиуса зоны дробления, а в нижней, если влажность грунта превысит 10–12 %, может сформироваться полость разной степени устойчивости и тогда этот параметр будет представлять собой радиус полости. Последняя будет полностью

Табл. 3. Сравнительные данные по размерам полости в зависимости от свойств грунта

Q_{BB} , кг/м	$r_{\text{з}}$, м	$K_{\text{м}}$, км	Плотность сухого грунта, г/см ³ и влажность W , %										$r_{\text{пол}}$, м
			1.35		1.40		1.45		1.50		1.35	1.50	
			W, %		W, %		W, %		W, %		W, %	W, %	
			5	9	5	9	5	9	5	9	25	20	
1.2	0.022	–	0.27	0.3	0.31	0.33	0.34	0.41	0.37	0.4	0.59	0.58	0.2–0.3
2	0.028	–	0.34	0.37	0.39	0.42	0.43	0.52	0.49	0.51	0.76	0.74	0.3–0.4
4.8	0.044	0.978	0.52	0.57	0.60	0.65	0.66	0.8	0.72	0.76	1.16	1.14	0.4–0.6
6.8	0.052	0.967	0.61	0.66	0.7	0.76	0.77	0.94	0.84	0.92	1.36	1.33	0.65–1.25
10.	0.063	0.951	0.72	0.79	0.83	0.9	0.92	1.12	1.0	1.09	1.62	1.59	0.79–1.58
16.	0.08	0.927	0.89	0.98	1.03	1.12	1.14	1.38	1.24	1.35	2.0	1.97	1.0–2.0
20.	0.089	0.915	0.98	1.07	1.13	1.23	1.25	1.52	1.36	1.49	2.2	2.16	1.12–2.24
25	0.1	0.899	1.08	1.18	1.25	1.36	1.38	1.69	1.5	1.64	2.43	2.39	1.25–2.25

или частично засыпана упавшим сверху грунтом из зоны дробления. Данные по размерам полости в зависимости от параметров заряда и свойств грунта приведены в табл. 3, в которой введены следующие обозначения: Q_{BB} – погонный расход ВВ, $r_{\text{з}}$ – радиус заряда, $K_{\text{м}}$ – масштабный коэффициент, $r_{\text{пол}}$ – радиус полости (по данным НИИСК [4] в грунтах оптимальной влажности).

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

При разработке взрывных технологий ликвидации просадочных свойств маловлажных лессовых массивов параметры взрывных работ задаются таким образом, чтобы уплотненные зоны соседних зарядов между рядами и в ряду по крайней мере соприкасались (лучше, если они частично перекрываются, чтобы обеспечить нарушение грунта в так называемых "мертвых зонах" в центре квадрата между четырьмя соседними взрывами).

Таким образом, при квадратной сетке скважин расстояние между ними в ряду и между рядами следует принимать равным двум радиусам $r_{\text{з},y}$, вычисленным по формуле (16). Приведенные в табл. 1 результаты расчетов удовлетворительно согласуются с имеющимися литературными данными. Так, В. Н. Мосинец [1] при взрыве в лессах заряда весом 160 кг приводит значение коэффициента пропорциональности, равное 0.74, что соответствует нашим расчетам в лессах плотностью скелета 1.38–1.4 и влажности 8–9 %. Однако предлагаемые нами соотношения более универсальны, поскольку охватывают практически весь встреча-

ющийся диапазон значений плотностей при исследуемых величинах влажности. Размеры уплотненной зоны нами предлагается пока определять в зависимости лишь от одного показателя – влажности, так как отсутствуют данные по корреляционным связям между скоростью продольной волны и плотностью скелета грунта.

Поэтому в дальнейшем предполагается разработать методику косвенной оценки размеров этой зоны по показателю объемного веса скелета через определение радиуса зоны трещин по формулам (8) и (19) с последующим сопоставлением их размеров, выраженных в радиусах полости (зоны дробления) или приведенных радиусах.

Расхождение данных табл. 2 по определению размеров зоны уплотнения с данными расчета по [5] возможно объясняется разными грунтовыми условиями, в то же время служит основанием для дальнейших поисков более совершенных методик расчетов, которые базировались бы на учете объемного веса скелета, как об этом сказано выше.

В настоящей работе рассмотрены варианты взрывных технологий с применением системы вертикальных цилиндрических зарядов. Из числа других взрывных методов наиболее перспективными являются схемы обработки массива наклонными, встречнонаклонными скважинными зарядами в сочетании с вертикальными рядами скважин, размещаемых по контуру обрабатываемого массива. Они имеют свою специфику как в плане взаимодействия зарядов между собой при взрывании, так и по степени воздействия на окружающую среду. Однако в данной работе эта специфика не рассматривалась.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании изложенного можно сделать следующие выводы.

1. Расчет параметров взрыва при проектировании взрывных технологий обработки просадочных массивов целесообразно осуществлять по предлагаемой автором методике с учетом таких важнейших характеристик, как плотность грунта и его влажность. Как видно из табл. 1 и 2 в зависимости от величины плотности скелета радиус сферической зоны дробления изменяется почти в два раза.

2. Радиус зоны необратимых деформаций при сферической симметрии с ростом влажности с 5 до 14 % уменьшается примерно на 20 %, при взрывании цилиндрических зарядов – на 10 %.

3. При взрывании зарядов, расположенных по шахматной сетке, расстояние между скважинами необходимо принимать равным $2r_{II} \cdot \sqrt{3}$, где r_{II} вычисляется по формуле (10).

4. Величина заряда в одной скважине и общий

вес зарядов определяются технико-технологическими требованиями, а также соображениями сейсмобезопасности для расположенных вблизи поверхностных объектов, что устанавливается специальными расчетами.

1. Вовк А.А., Барановский З., Зых Я., Блинов А.В. Закономерности деформаций грунтов и горных пород при динамических воздействиях. – К.: Ин-т гидромеханики НАН Украины, 1996. – 168 с.
2. Вовк А.А. Черный Г.И. Взрывные работы в горных породах. – К.: Техника, 1973. – 164 с.
3. Кригер Н.И., Алешин А.С., Кожевников А.Д., Миндаль И.Г. Сейсмические характеристики лесовых пород в связи с геологическим окружением и техногенезом. – М.: Наука, 1980. – 104 с.
4. Методические рекомендации по проектированию и строительству зданий и сооружений на основаниях, уплотняемых энергией взрыва. / Под редакцией Рыжова А.М. – К.: НИИСК Госстроя СССР, 1988. – 190 с.
5. Вовк А.А., Кравец В.Г. и др. Геомеханика взрыва и ее практические приложения. – К.: Ин-т геофизики им. С.И. Субботина АН УССР, 1989. – 208 с.