

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971  
ISI (Dubai, UAE) = 0.829  
GIF (Australia) = 0.564  
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
PIHHI (Russia) = 0.126  
ESJI (KZ) = 8.716  
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630  
PIF (India) = 1.940  
IBI (India) = 4.260  
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

### International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2019 Issue: 09 Volume: 77

Published: 17.09.2019 <http://T-Science.org>

QR – Issue



QR – Article



**Nasriddin Urinovich Kuldoshev**

Tashkent Institute of Chemistry and Technology,  
Senior Lecturer to Department of Technology Engineering, docent, Uzbekistan

**Bahodir Sobirovich Rakhmanov**

Urgench State University,  
Senior Lecturer to Department of Technology Engineering, Uzbekistan

**Nurillo Raximovich Kulmurov**

Navoi State Mining Institute,  
Senior Lecturer to Department of Technology Engineering, Uzbekistan  
[nurillo.Kulmurov.64@mail.ru](mailto:nurillo.Kulmurov.64@mail.ru)

**Matlab Raxmatovich Ishmatov**

Navoi State Mining Institute,  
Senior Lecturer to Department of Technology Engineering, docent, Uzbekistan  
[matkab1962@mail.ru](mailto:matkab1962@mail.ru)

**Shaxob Fayzievich Xalilov**

Navoi State Mining Institute,  
Senior Lecturer to Department of Technology Engineering, Uzbekistan

## NATURAL EXPERIMENTAL STUDIES OF THE BEHAVIOR OF UNDERGROUND SHELL CONSTRUCTIONS UNDER THE INFLUENCE OF SEISMIC EXPLOSION WAVES. PART 2. METHOD OF EXPERIMENTAL STUDIES OF DYNAMIC BEHAVIOR OF UNDERGROUND PIPELINE DESIGNS UNDER THE INFLUENCE OF SEISMIC EXPLOSION WAVES

**Abstract:** The paper presents the results of full-scale experimental studies on the pattern of propagation of seismic blast waves in the soil and the behavior of the underground cylindrical thin-walled shell under seismic effects of underground instantaneous explosions. It was established that the rise time of the maximum of the underground structure in the waveform does not correspond in value with the time of the rise of the maximum of the soil environment surrounding the underground structure. From the above it follows that, with moderate attenuation, the logarithmic decrement is the ratio of the energy scattered in one cycle to the doubled maximum potential energy of the cycle. The results obtained are important in engineering analysis and prediction of the behavior of underground thin-walled structures.

**Key words:** soil vibration speed, static load, source, D'Alamberts principle, stiffness, vibration, amplitude, equations.

**Language:** Russian

**Citation:** Kuldoshev, N. U., Rakhmanov, B. S., Kulmurov, N. R., Ishmatov, M. R., & Xalilov, S. F. (2019). Natural experimental studies of the behavior of underground shell constructions under the influence of seismic explosion waves. Part 2. Method of experimental studies of dynamic behavior of underground pipeline designs under the influence of seismic explosion waves. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 09 (77), 67-76.

**Soi:** <http://s-o-i.org/1.1/TAS-09-77-14> **Doi:** <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2019.09.77.14>

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.126	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.716	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	OAJI (USA) = 0.350

Scopus ASCC: 2200.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ОБОЛОЧЕЧНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СЕЙСМОВЗРЫВНЫХ ВОЛН. ЧАСТЬ 2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СЕЙСМОВЗРЫВНЫХ ВОЛН

**Аннотация:** В работе приведены результаты натурных экспериментальных исследований по изучению картины распространения сейсмиковзрывных волн в грунтовой среде и поведения подземного цилиндрического тонкостенной оболочки при сейсмических воздействиях подземных мгновенных взрывов. Установлено, что время нарастания максимума подземного сооружения в осциллограмме по значению не соответствует с временем нарастания максимума грунтовой среды, окружающего подземного сооружения. Из выше указанных вытекает, что при умеренном затухании логарифмический декремент есть отношение энергии, рассеянной за один цикл, к удвоенной максимальной потенциальной энергии цикла. Полученные результаты имеют важное значение при инженерном анализе и прогнозировании поведения подземных тонкостенных конструкций.

**Ключевые слова:** скорости колебания грунта, статическая нагрузка, источник, принципом Даламбера, жёсткость, вибрация, амплитуда, уравнения.

#### Введение

**Исследование кинематических параметров колебания грунта экспериментальной площадки при подземных взрывах.**

Интенсивность сейсмического воздействия или степень колебания грунтовой среды определяется по сейсмическим шкалам. Подразделение землетрясений по баллу основано на разных критериях: по величине ускорения смещения грунта; величине смещения грунта; скорости колебания грунта; по плотности энергии сейсмических волн и др.

Существуют немало количество шкал, в которых интенсивность землетрясения определяется по инструментальным данным, характеру повреждений зданий, возводимых без антисейсмических мероприятий, остаточным деформациям поверхности земли, поведению людей и животных, а также устойчивости различных предметов.

До настоящего времени у нас в стране пользуются сейсмической шкалой [1,2,3,4,11,12] практически наиболее важная часть, которой в диапазоне от 6 до 9 баллов утверждена в качестве Государственного стандарта.

Для оценки последствий землетрясений при подземных взрывах С.В. Медведевым предложена шкала сейсмической интенсивности [5,6], учитывающая меньшую продолжительность сейсмических колебаний и повторяемость сопоставимых между собой по величине волн, а также высокую частоту колебаний при подземных взрывах в сравнении с естественными тектоническими землетрясениями.

По СНиПу оценка сейсмического действия природных тектонических землетрясений на сооружение производится по величине ускорения

смещения грунта, вызываемого землетрясением. В зависимости от величины ускорения производится оценка интенсивности землетрясений в баллах. При расчете зданий и сооружений на действие естественных землетрясений полагают, что действие последнего силам инерции, действующим на сооружения при землетрясении. Величина этих сил по закону Ньютона принимается равной массе рассматриваемого элемента, умноженной на ускорение колебаний грунта.

Действительное ускорение колебаний сооружения заменяется ускорением землетрясения. При сейсмических колебаниях, вызванных подземными взрывами, разрушения или повреждения не будут иметь места до тех пор, пока энергия, получаемая сооружением при действии сейсмиковзрывных волн, не достигнет значительной величины, достаточной для разрушения или повреждения сооружения, независимо от того, какие численные значения приобретает величина ускорения.

При изучении сейсмического воздействия подземных взрывов особое значение имеет прогнозирование ожидаемых амплитуд скорости смещения частиц грунта, научные основы которого разработаны в М.А. Садовским [8]. В дальнейшем проведенные многочисленные исследования сейсмического действия подземных взрывов, лишь подтвердили основные закономерности скорости колебаний от веса заряда и расстояния до них, предложенном М.А. Садовским. Кроме того, вопрос оценки сейсмического эффекта подземного взрыва изучался Д.Д. Барканом, Ф.А. Кирилловым, С.В. Медведевым и другими, которым предложены ряд эмпирические зависимости вышесказанного параметра от веса заряда расстояния [4,6].

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971  
ISI (Dubai, UAE) = 0.829  
GIF (Australia) = 0.564  
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
РИИЦ (Russia) = 0.126  
ESJI (KZ) = 8.716  
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630  
PIF (India) = 1.940  
IBI (India) = 4.260  
OAJI (USA) = 0.350

Формула М.А. Садовского для определения скорости колебаний частиц грунта получена с использованием закона динамического подобия Ньютона для упругих сил (или критерий Коши):

$$V = \dot{u} = k \left( \frac{\sqrt[3]{C}}{R} \right)^n \quad (1)$$

где,  $C$  - общий вес заряда ВВ (кг),  $k$  - коэффициент пропорциональности,  $R$  - расстояние от места взрыва до пункта наблюдения,  $n$  - показатель степени.

Величина показателя степени ( $n=1,5$ ), приведенного веса заряда, в этой формуле определяет степень ослабления интенсивности колебаний с расстоянием, зависящий от акустических свойств горных пород от точки взрыва до пункта наблюдения.

Для определения скорости смещения частиц грунта Д.Д. Барканом предложена следующая зависимость:

$$V = \dot{u}_0 = \omega \rho \sqrt{C} \left[ \frac{1}{R^2} + \frac{C_1}{R} + \frac{C_2}{\sqrt{R}} \right] \quad (2)$$

где:  $C_1, C_2$  - эмпирические постоянные, мало зависящие от свойств среды (численные значения  $C_1$  и  $C_2$  определяется экспериментально);  $C$  - вес заряда ВВ;  $R$  - расстояние от точки взрыва до пункта наблюдения;  $\rho$  - коэффициент пропорциональности.  $\omega = f / \lg R$  здесь:  $f$  - частота главной фазы сейсмозрывных волн.

На основе экспериментальных данных С.В. Медведев предложил следующую формулу

$$V = \dot{u}_0 = 7,5 * 10^4 \sqrt{\frac{g}{\gamma \mathcal{G}_p T R_{np}^3}} \quad (3)$$

здесь:  $\mathcal{G}_p$  - скорость распространения волны (м/сек);

$R_{np}$  - приведенное расстояние;  $\gamma$  - объемный вес грунта, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  - ускорение силы тяжести, м/сек<sup>2</sup>;  $T$  - период колебания грунта, сек.

Американские исследователи Л.Д. Лит, Ф.И. Крэнделл и др. предложили при практических расчетах использовать коэффициент энергии взрыва, пропорционального:

$$ER = 10,8 A^2 f^2$$

где,  $ER$  - коэффициент энергии взрыва;  $A$  - амплитуда смещения, см;  $f$  - частота колебаний, Гц.

Ими установлен, что для разнообразных подземных зданий и сооружений критическим является коэффициент энергии 20-40. Учитывая, что скорость колебаний грунта и коэффициент энергии зависят только от амплитуды и частоты колебаний, можно для сравнения сделать взаимные пересчеты этих величин:

$$ER = 0,274 \mathcal{G}^2, \quad \mathcal{G} = 1,91 \sqrt{ER}$$

Критическим величием  $V=12-14$  см/с и 2-3 см/с соответствуют коэффициенты энергии  $ER=39-54$  и  $ER=1,1-2,5$ . Критическим коэффициентом энергии  $ER=20-40$  соответствуют скорости  $V=8,5-12,1$  см/с.

Как указывалось, выше, кинематические параметры колебания грунта были зафиксированы в двух пунктах, которые расположены на расстоянии 100 м друг от друга (в направлении к точке взрыва).

Экспериментальных данных можно аппроксимировать в виде зависимости от веса взрывающего заряда  $C$  и эпицентрального расстояния  $R$  и установить эмпирическую формулу в следующем порядке:

Используя вышеназванного метод аппроксимируем кривую приведенной на рис. 1 которая получена на контрольной точке в грунт. Эмпирическая формула зависимости скорости смещения грунта от веса заряда ВВ и эпицентрального расстояния имеет следующий вид:

$$\mathcal{G} = 325,24 R_{np}^{-1,45553}$$

или

$$\mathcal{G} = 325,24 \left( \frac{\sqrt[3]{C}}{R} \right)^{1,46} \quad (4)$$

Сравним экспериментально полученных результатов с соответствующими значениями, полученными по эмпирическим формулам.

Надо отметить, что расшифровка картины колебаний грунта при взрывах, понятие об отдельных волнах, особенно на близких расстояниях от точки взрыва, является условным.

Оно включает в себе тот смысл, что под волной понимается некоторая фаза движения (максимум или минимум), которая прослеживается на осциллограммах (эпюрах) в некотором диапазоне расстояний и характеризуется определенными признаками. Эти фазы часто являются результатом наложения нескольких волн, различных по природе, причем выделить эти волны в чистом виде и, в частности, определить моменты их вступления не всегда удается. На несколько больших расстояниях, где волны разделяются между собой из-за различия скоростей распространения, понятие волны приобретает более определенный смысл. Поскольку в нашем случае число экспериментальных точек невелико, (их всего 2) расшифровать картины колебаний различные типы на эпюрах колебаний различные типы волн (продольные, Рэлеевские и т.д) оказалось затруднительным. Судя по результатам исследований Харина, Рулева максимальные значения скорости в ближней зоне соответствует продольной волне, а на дальних расстояниях Рэлеевской.

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.126	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.716	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	OAJI (USA) = 0.350

На рис.1 и 2 приведены серии записей скорости сейсмозрывного колебания грунта для разных приведенных расстояний ( $R_{np}=14,5\div 24,54$ ). Приведенные здесь осциллограммы относятся к продольной составляющей скорости. Если рассмотреть записи скорости колебания грунта, то заметим, что первоначальный, относительно простой по форме сигнал, наблюдается при малых приведенных расстояниях.

Приведенное описание движения грунта при больших приведенных расстояниях от точки взрыва подтверждается в сложный цуг колебаний, который содержит несколько пиков и впадин разной амплитуды и дальше плавно затухает [8,9].

Пик, по значению соответствующий максимуму, на записи колебания наблюдается

спустя некоторое время после начала колебания, т.е. изменение скорости в таких колебаниях является плавным, а не ударным. Если рассмотреть колебания грунта на различных приведенных расстояниях, то можно заметить, что максимальный пик, как в записи смещения, с увеличением приведенного расстояния перемещается к концу записи. Так при опытах №3 и №4 в контрольной точке пик наблюдается первом движении, а в последующем оп № 2 в контрольной точке уже не середине и при больших приведенных расстояниях оп №3 и оп №2, основном пункте наблюдений максимальный пик перемещается к концу записи.

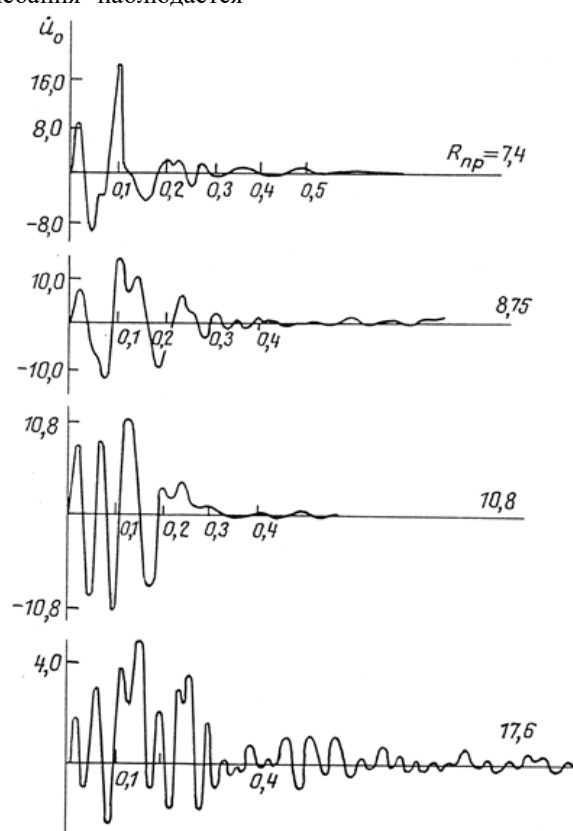


Рис.1.Скорость частиц грунта на различных приведенных расстояниях(зафиксирован в контрольной точке, ближняя точка взрыва).

Таким образом, первоначальный простой сейсмозрывной сигнал, который наблюдается по форме сложный цуг колебаний, где видны несколько пики и впадин разной амплитуды.

На записях-осциллограммах, кроме первых вступлений, можно заметить развитие отдельных характерных фаз. По этим данным на основе значений скорости и перемещений были построены годографы.

Кроме того, с увеличением приведенного расстояния, наблюдается нарастание продолжительности колебания.

Если сравнить записи разных приведенных расстояний, то заметим, что при больших приведенных расстояниях продолжительность больше, чем при остальных. Обратим внимание на «плотность» записей, т.е. число пиков на головной части. Здесь видим, что при разных приведенных расстояниях число пиков различно, с увеличением приведенного расстояния

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.126	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.716	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	OAJI (USA) = 0.350

«плотность» число колебания увеличивается, а затухание становится более плавным.

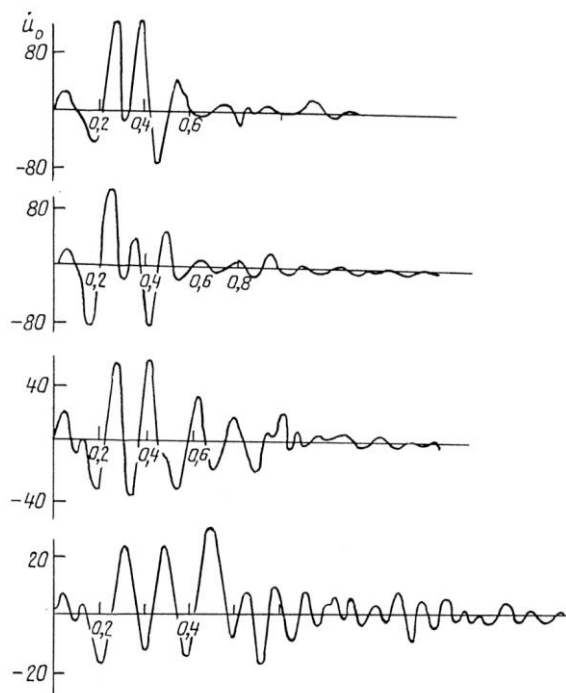


Рис.2. Скорость частиц грунта на различных приведенных расстояниях (зафиксирована на основном пункте наблюдения).

Результаты вычисления логарифмических декрементов затухания показывает, что затухание в контрольной точке, т.е. в близком расстоянии к точке взрыва, больше, чем в основном пункте наблюдения. Отсюда следует, что с увеличением

приведенного расстояния величины логарифмических декрементов затухания уменьшаются.

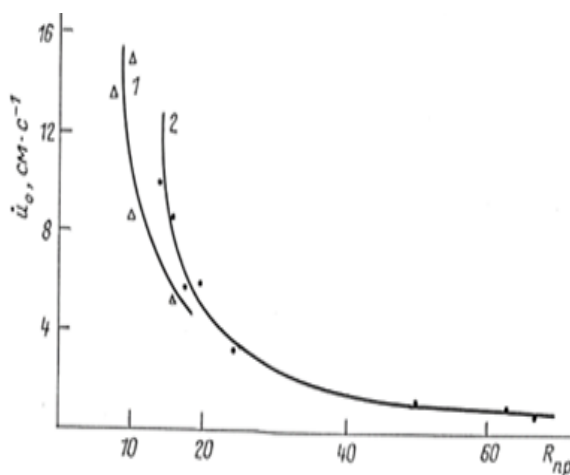


Рис.3. Зависимость скорости смещения грунта в продольном направлении от приведенного расстояния: 1-для контрольной точки; 2 - на основном пункте наблюдения.

Амплитуда скорости движения грунта при малых приведенных расстояниях характеризуются значительными величинами. С увеличением расстояния эти амплитуды являются быстро затухающими.

Анализ осциллограмм смещения и скорости (рис.1 и 2) показывает, что максимальные значения скорости по времени не согласуются с максимумом смещения той же точки грунта, во всех опытах смещение достигает своего максимума раньше, чем скорость. Кроме того,



## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971  
ISI (Dubai, UAE) = 0.829  
GIF (Australia) = 0.564  
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
РИИЦ (Russia) = 0.126  
ESJI (KZ) = 8.716  
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630  
PIF (India) = 1.940  
IBI (India) = 4.260  
OAJI (USA) = 0.350

диапазон головной части скорости шире, чем смещения грунта той же точки, а амплитуда скорости не всегда пропорциональна максимуму смещения в грунте.

При оценке сейсмического воздействия подземных взрывов на подземные сооружения существенную роль играет спектральный состав колебаний, одного спектральная обработка сейсмограмм требуют применение вычислительной техники и специальных алгоритмов.

На рис.3 приведен зависимости скорости смещения частиц грунта от приведенного расстояния. Здесь кривая-I показывает изменение вышеназванного параметра для контрольной точки, а кривая II-для основного пункта наблюдения. Отсюда можно заметить, что особе кривые при малых приведенных расстояниях имеют резко убывающий характер, а с увеличением приведенного расстояния эта кривая более плавно затухает. Интенсивное затухание,

которое наблюдается при малых приведенных расстояниях свидетельствует о большой диссипации энергии этой зоне. Это связано с пластическими и упругопластическими деформациями в грунте, т.к. эта зона примыкает к зоне упругопластической деформации здесь диссипация энергии больше, чем в зоне упругого колебания, что подтверждает кривая II.

Таким образом, здесь были определены интенсивность колебания сейсмического воздействия при каждом подземном взрыве по трем параметрам: амплитуде смещения, скорости смещения и по средним значениям плотности энергии протекающей в грунте. Установлена зависимость скорости смещения от величины заряда ВВ и эпицентрального расстояния. Оценена точность формул (для данного условия) других авторов и сделан анализ записи осциллограмм скорости колебания (см. табл.1).

Таблица 1. Анализ записи осциллограмм скорости колебания.

№ опытов	Вес заряда ВВ, кг	Эпицентр. расстояния от точки взрыва	Экс. знач. скорости смещения см/сек	Продольное перемещение мм.	Плотность энергии эрг/см <sup>2</sup>	Интенсивность в баллах
1	890	350	1,2	0,4	0,6 *10 <sup>6</sup>	4
2	2900	350	3,05	0,8492	3,3 *10 <sup>6</sup>	5
3	6540	300	5,42	1,3922	18,9 *10 <sup>6</sup>	6
4	5140	250	10,04	1,6604	85,8 *10 <sup>6</sup>	7
5	2520	200	8,5	1,2492	88,9 *10 <sup>6</sup>	7

### Экспериментальные исследования колебания подземных сооружений при сейсмозрывных воздействия.

Разрушительное действие сейсмозрывных волн в значительной мере определяется количеством энергии, передающейся подземным сооружениям колебаниями грунта. Надо отметить, что энергетический критерий относится к ситуациям, в которых существует потенциальная возможность повреждения подземного сооружения.

Ниже приводим некоторые экспериментально полученные записи

сейсмических колебаний подземного сооружения, а также его абсолютные смещения

Если затухание колебания в горизонтальном направлении (по оси *Ox*) в большей степени обусловлено податливостью грунта или, другими словами, в этом направлений затухание происходит за счет взаимодействия или преодоления энергии сцепления на контакте тела сооружения и грунта, то на вертикальной составляющей затухание колебания сооружения обусловлено рассеиванием энергии из-за значительных деформаций грунта.

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.126	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.716	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	OAJI (USA) = 0.350

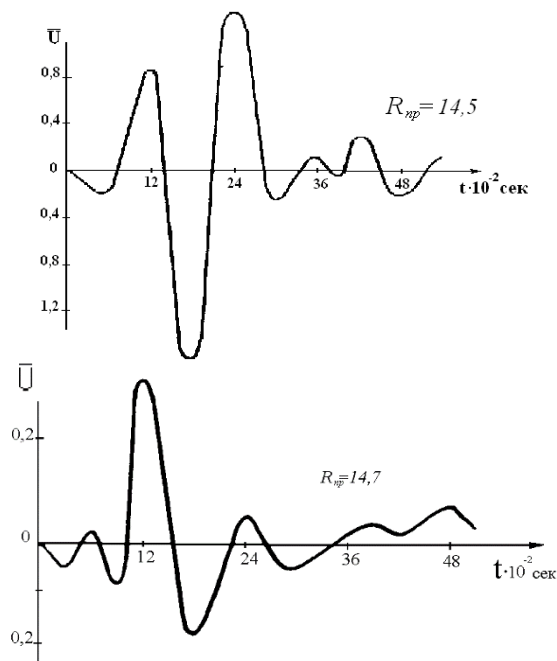


Рис.4. Изменение относительного смещения грунта и сооружения в продольном направлении по времени.

Отсюда видно, что каждая составляющая изменяется по разным законам и они численно соизмеримы между собой. Получено подтверждение существования относительных

перемещений подземного оболочечного сооружения и грунтовой среды в трех взаимно перпендикулярных направлениях.

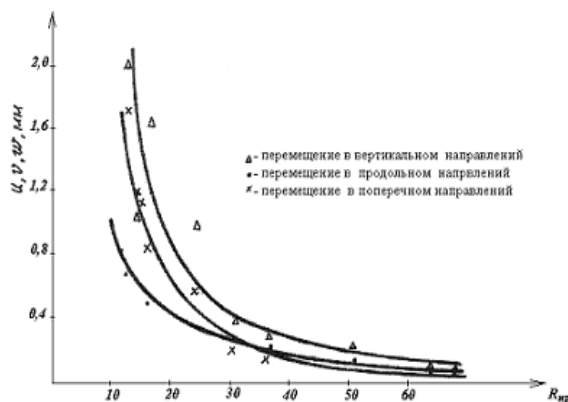


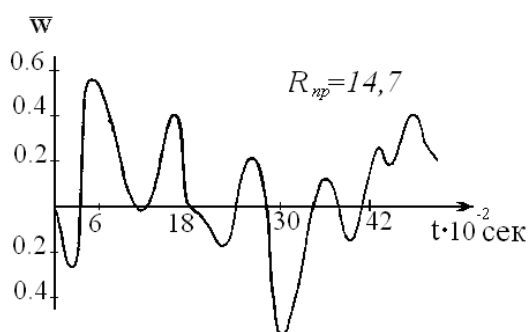
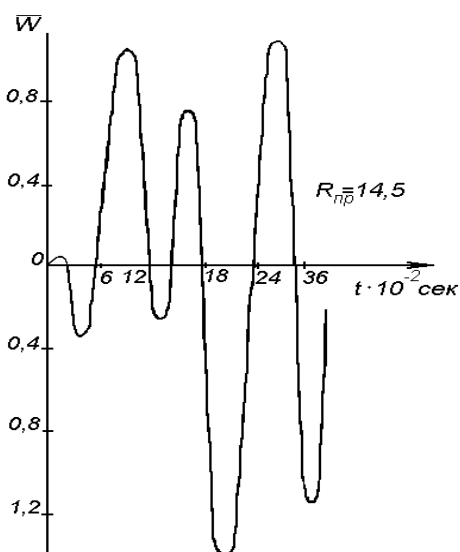
Рис.5. Зависимости абсолютных максимальных перемещений сооружения в трех взаимно перпендикулярных направлениях от приведенного расстояния.

При этом заметим, что максимальные значения продольных и поперечных горизонтальных перемещений сооружения по значению меньше, чем грунтовой среды.

На основе экспериментально полученных результатов, были построены зависимость относительного смещения грунта и сооружения от абсолютного смещения грунта (рис. 4-6).

## Impact Factor:

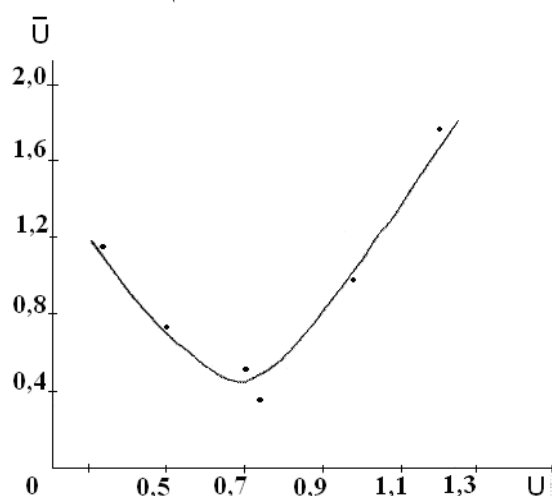
ISRA (India)	= 4.971	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 0.829	PIHII (Russia)	= 0.126	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.716	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 5.667	OAJI (USA)	= 0.350



**Рис.6. Изменение относительного смещения грунта и сооружения в вертикальном направлении по времени.**

Отсюда нетрудно заметить, что численное значение относительного смещения грунта и сооружения в продольном направлении до некоторого значения абсолютного смещения

( $U \approx 0,7$  мм) имеет убывающий характер, после чего значение этого параметра возрастает (рис.7).



**Рис.7. Зависимость относительного перемещения сооружения от абсолютного перемещения грунтовой среды в продольные направления.**

На рис.8 приведен зависимость относительного перемещения сооружения от

абсолютного перемещения грунтовой среды в вертикальные направления.



## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.126	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.716	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	OAJI (USA) = 0.350

Здесь, даже визуально наблюдается та картина как в продольные направления. Но в этом случае диапазон, где происходит убывание численного значения относительное смещение более узелок чем, в продольные направления [7,10].

На рис.7 и рис.8 приведены зависимости относительного смещения сооружения от абсолютного перемещения грунтовой среды в продольном и вертикальном направлениях

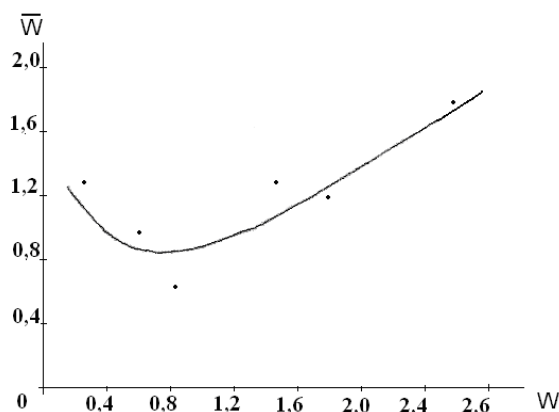


Рис.8. Зависимость относительного перемещения сооружения от абсолютного перемещения грунтовой среды в вертикальные направления.

Вследствие взаимодействия между грунтом и сооружением наблюдается, изменение смещения подземного сооружения во всех направлениях в сторону уменьшения, т.е. во всех направлениях существует относительное смещение грунта и сооружения, характер которого зависит от многих факторов: физико-механических свойств грунтов, особенностями конструкции и материала подземного сооружения, условиями контакта и взаимодействия грунта и сооружения, а также от значения сил взаимодействия в контакте двух сред. Все компоненты, относительного смещения грунта и сооружения, по численному значению близки между собой. Вышеприведенные кривые зависимости параметров от интенсивности сейсмического колебания грунта были аппроксимированы по методу наименьших квадратов. К аппроксимации подверглась каждая кривая в отдельности и получены следующие выражения зависимости относительного смещения от интенсивности сейсмического колебания грунта:

- для смещения в продольные направления

$$\tilde{U} = 0,31I^2 - 2,61I + 6,02; \quad (5)$$

- для смещения в поперечные направления

$$\tilde{V} = 0,052I^2 - 0,431I + 1,0; \quad (6)$$

- и наконец, для смещения в поперечные направления

относительно к оси сооружения. Как следует из этих графиков численные значения относительных перемещений имеют убывающий характер, продольное смещение и вертикальное соответственно равны 0,7 и 0,8. Уменьшение значения этих параметров начиная с этих значений прекратятся и дальше начиная со значений  $u > 0,7$  и  $w > 0,8$  зависимость данных графиков имеют возрастающий характер.

$$\tilde{W} = 0,07I^2 - 0,51I + 0,93. \quad (7)$$

Колебания среды здесь не имеют явной формы и даже в некоторых приведенных расстояниях форма движения теряет колебательных характер ( $R_{np}=24,5$ ;  $R_{np}=36,5$ ).

Впервые были получены эмпирические формулы зависимости абсолютного смещения подземного сооружения от веса заряда ВВ и эпицентрального расстояния в трех взаимно перпендикулярных направлениях для каждого компонента смещения:

- для смещения в продольные направления

$$U = 9,2R_{np}^{-0,988} = 9,29(\sqrt[3]{C}/R)^{-0,988}; \quad (8)$$

или

$$U = 2,16e^{-0,069R_{np}}; \quad (9)$$

- для смещения в вертикальные направления

$$W = 141(\sqrt[3]{C}/R)^{-1,67}; \quad (10)$$

или

$$W = 4,11e^{-0,067R_{np}}; \quad (11)$$

- для поперечного смещения

$$V = 700(\sqrt[3]{C}/R)^{-2,44}; \quad (12)$$

или

$$V = 7,8e^{-0,13R_{np}}. \quad (13)$$

Таким образом, на основе результатов экспериментальных исследований в натуре, получены эмпирические выражения для количественного определения максимальных значений абсолютных перемещений подземного

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.126	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.716	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	OAJI (USA) = 0.350

сооружения, взаимодействующих с грунтовой средой.

### Выводы.

1. Процесс взаимодействия подземного сооружения и грунта является суммарным результатом действия прямых, отраженных от границы раздела полупространства энергии волн: при этом участие первых заключается в создании в разрушаемой среде определенного пред разрушении её по имеющимся микро и макротрещинам, которое в последующем под действием вторичных волн.

2. Получено подтверждение существования относительных перемещений, сооружения типа оболочки и грунтовой среды в трех взаимно перпендикулярных направлениях. При этом установлено, что максимальные значения продольных и поперечных горизонтальных перемещений сооружения по значению меньше, чем у грунтовой среды.

3. На основе экспериментальных данных получены эмпирические формулы для вычисления максимальных значений перемещений сооружения.

4. Анализ осциллограмм в трех взаимоперпендикулярных направлениях показал, что каждый составляющий достигает своего максимума в разное время процесса колебаний.

5. Установлено, что время нарастания максимума подземного сооружения в осциллограмме по значению не соответствует с временем нарастания максимума грунтовой среды, окружающего подземного сооружения.

6. Из выше указанных вытекает, что при умеренном затухании логарифмический декремент есть отношение энергии, рассеянной за один цикл, к удвоенной максимальной потенциальной энергии цикла. Основываясь этих соображениях можно сказать, что в случае  $n=1$ , т.е. логарифмический декремент  $\lambda = const$ .

Полученные результаты имеют важное значение при инженерном анализе и прогнозировании поведения подземных тонкостенных оболочечных сооружений при действии сейсмозрывных волн.

## References:

1. Lyaxov, G. M. (1982). *Volni v gruntax i poristix mnogokomponentnix sredax*. (p.286). Moscow: Nauka.
2. Medvedev, S. V., & Lyamzina, P. A. (1962). *Seysmicheskiy effekt vzrivov na rudnike*. Voprosi inzhenernoy seysmologii, vip. 6. (pp.73-102). Moscow.
3. Medvedev, S. V. (1962). *Inzhernaya seysmologiya*. (p.284). Moscow: Stroyizdat.
4. Mubarakov, Y. N. (1987). *Seysmodinamika podzemnix sooruzheniy tipa obolochek*. (p.192). Tashkent: Fan.
5. Sadvovskiy, M. A. (n.d.). *Prosteyshiye priyemi opredeleniya seysmicheskoy opasnosti massovix vzrivov*. Moscow: Izd. IGD AN.
6. Melure, G. M., Afferburg, T., & Pratier, N. A. (1966). *Analisis of Blast Effect on Pipelines*. Proc. ASCE, 1966, USA.
7. (1981). *Vibrasii v texnike*: Spravochnik: V 6 t. – M.: Mashinostroyeniye, 1981-t.6. Zashita ot vibrasii i udarov / Pod red. K.V. Frolova (Eds.). (p.456).
8. Tokarev, M. F., Taliskiy, Y. N., & Frolov, V. A. (1984). *Mexanicheskiye vozdeystviya i zashita radioelektronnoy apparaturi*: Ucheb. posobiye dlya vuzov / Pod red. V.A. Frolova (Eds.). (p.224). Moscow: Radio i svyaz.
9. Panovko, Y. G. (1967). *Osnovi prikladnoy teorii uprugix kolebaniy*. (p.316). Moscow: Mashinostroyeniye.
10. Rjanisin, A. R. (1968). *Teoriya polzuchesti*. (p.415). Moscow: Stroyizdat.
11. Osetinskiy, Y. V. (1967). K voprosu o kombinacionnom parametricheskom rezonanse v uprugix sistemax. *Prikladnaya mexanika, AN USSR, 1967, 3(18)*, 113-118.
12. Koltunov, M. A. (1976). *Polzuchest i relaksasiya*. (p.277). Moscow: Visshaya skola.