

ОБЗОР ЭКСПЕРИМЕНТА ПО СОЗДАНИЮ МОДЕЛИ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ГАЗОПРОВОДА И ВОЗДЕЙСТВИЮ НА НЕГО БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Л. В. Суловицкий

ООО "Альянс Электро"

Песочная наб. 40, г. Санкт-Петербург, 197110, Россия. E-mail: surovitsky@mail.ru

И. Ф. Жариков

Институт Проблем Комплексного Освоения Недр РАН

Крюковский туп., 4, г. Москва, 111020, Россия. E-mail: zharikov@ipkonran.ru

Ю. И. Виноградов

Национальный минерально-сырьевой университет "Горный"

21 линия, 2, Васильевский остров, г. Санкт-Петербург, 199106, Россия.

E-mail: vinogradov@spmi.ru

Создана физическая модель действующего газопровода с учётом условий пролегания реально существующего газопровода. Проведена серия взрывов на разном расстоянии от модельной трубы, измерен уровень сейсмического воздействия на модельный трубопровод. Измерен уровень сейсмических колебаний грунта вблизи модельной трубы. Рассчитан поправочный коэффициент.

Ключевые слова: сейсмическое воздействие, взрыв, строительство газопровода, параметры буровзрывных работ.

ОГЛЯД ЕКСПЕРИМЕНТУ ЗІ СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ ДІЮЧОГО ГАЗОПРОВОДУ ТА ВПЛИВ НА НЬОГО БУРОВИБУХОВИХ РОБІТ

Л. В. Суловицкий

ООО "Альянс Электро"

Пісочна наб. 40, м. Санкт-Петербург, 197110, Росія. E-mail: surovitsky@mail.ru

І. Ф. Жаріков

Інститут Проблем Комплексного Освоєння Надр РАН

Крюковський туп., 4, м. Москва, 111020, Росія. E-mail: zharikov@ipkonran.ru

Ю. І. Виноградов

Національний мінерально-сировинний університет "Гірничий"

21 лінія, 2, Васильєвський острів, м. Санкт-Петербург, 199106, Росія.

E-mail: vinogradov@spmi.ru

Створена фізична модель діючого газопроводу з урахуванням умов пролягання реально існуючого газопроводу. Проведена серія вибухів на різній відстані від модельної труби, вимірний рівень сейсмічного впливу на модельний трубопровід. Визначений рівень сейсмічних коливань ґрунту поблизу модельної труби. Розрахований поправковий коефіцієнт.

Ключові слова: сейсмічний вплив, вибух, будівництво газопроводу, параметри буро вибухових робіт.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В ходе строительства Северо-Европейского газопровода (СЕГ) «Nord Stream» на участках со скалистыми грунтами проходка ведётся с применением буровзрывных работ (БВР). В опасную зону проведения

буровзрывных работ при сооружении траншеи для трубы строящегося газопровода попадает труба действующего «Магистрального Газопровода Ленинград-Выборг-Госграница-1,2».

При производстве взрывных работ на участках строительства СЕГ велся сейсмический мониторинг с целью контроля уровня сейсмического воздействия на существующий газопровод и, при необходимости, корректировки параметров производимых БВР.

Для определения поправочного коэффициента, определяющего затухание скорости смещения грунта в сейсмозрывной волне и зависящего от ряда параметров, был поставлен полномасштабный эксперимент. Суть эксперимента заключалась в создании физической модели существующего газопровода, пролегающего в скальной породе, и в измерении сейсмических воздействий, оказываемых на него при взрывании различных зарядов в непосредственной близости от охраняемого объекта (модельного участка газопровода).

Созданная модель представляет собой отрезок газопровода длиной 11.6 м: диаметр трубы 1.22 м, толщина стенки 17.8 мм, – уложенного в траншею стандартных размеров с выполнением всех требований, обусловленных действующими нормами и стандартами при строительстве подземных газопроводов [1] по аналогии с существующим газопроводом (рис. 1, 2). Один борт траншеи выбирался в зоне сильно трещиноватых гранитов, залегающих на практически монолитных гранитах. Другой борт траншеи был создан путём отсыпки песка и супеси для обеспечения преимущественного распространения сейсмозрывных волн вдоль границы монолитных гранитов.

Скважинные заряды расположены на разном расстоянии от модельной трубы (рис. 2): I – калибровочный заряд (использовался для настройки измерительной аппаратуры), взрыв одиночного заряда – 14,4 кг;

II – короткозамедленное взрывание 6 скважинных зарядов одинаковой массы с поскважинным замедлением 55 мс – $14,4 \text{ кг} \times 6 = 86,4 \text{ кг}$;

III – мгновенный взрыв 3 скважинных зарядов – $14,4 + 10,9 + 7,4 \text{ кг} = 32,7 \text{ кг}$;

IV – взрыв одиночного скважинного заряда – 14,4 кг.

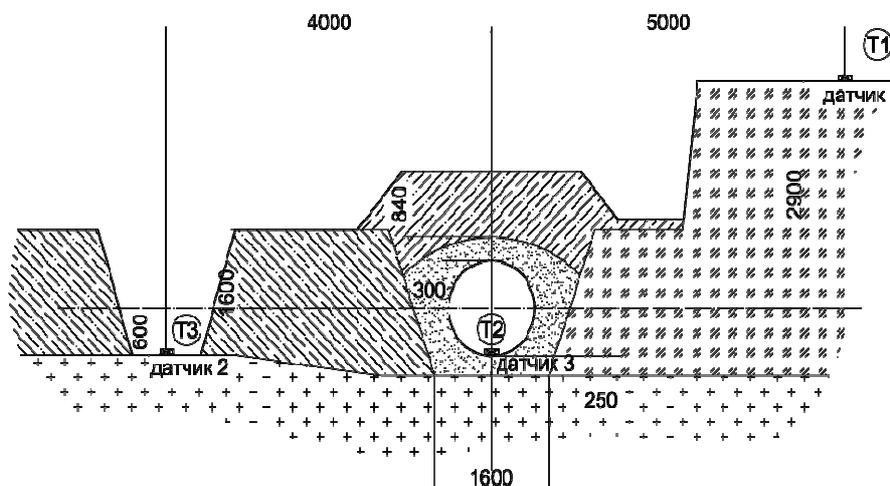


Рисунок 1 – Горизонтальный разрез

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

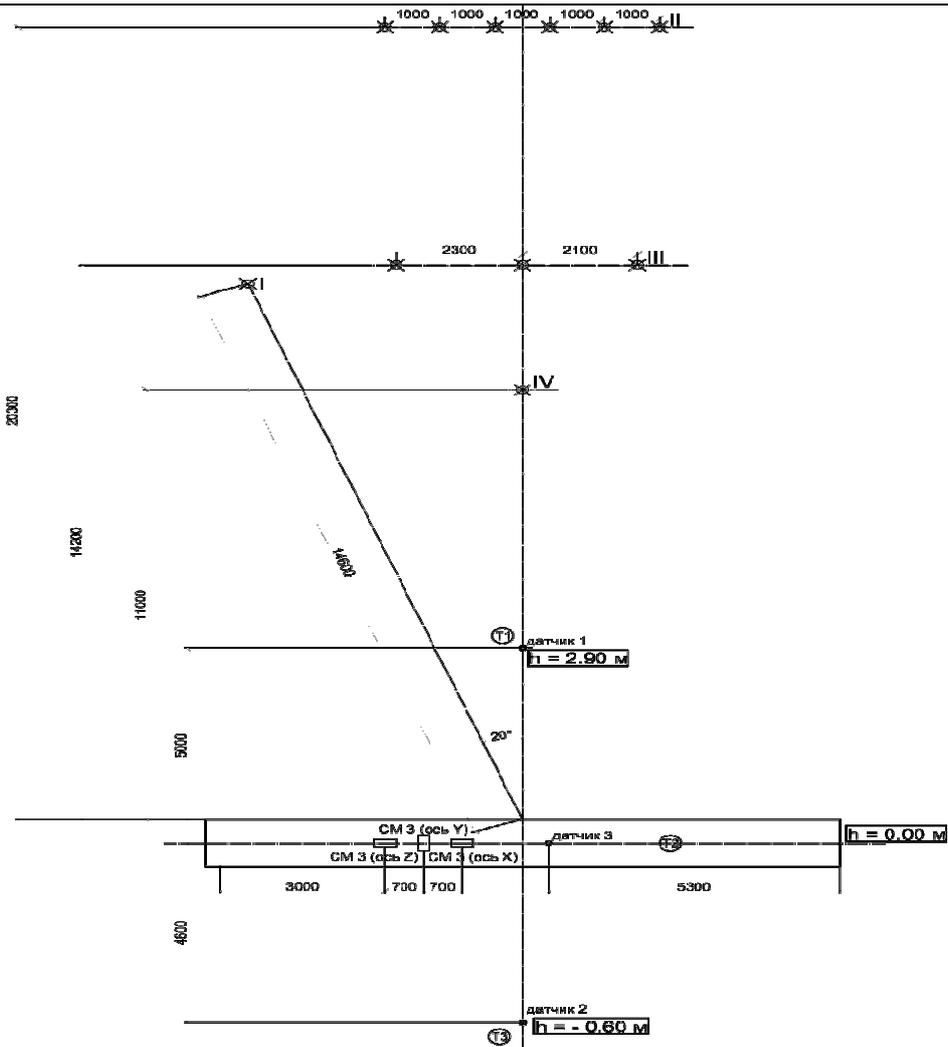


Рисунок 2 – План расположения сейсмических датчиков, трубы и зарядов

Условные обозначения к рис. 1 и 2:

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ⊗ – Скважина $\varnothing=102$ мм СМ 3 (ось Z) – Датчик низкочастотный однокомпонентный СМ 3 (Россия) —/—/○ – Датчик высокочастотный 3-хкомпонентный Instantel (Канада) Ⓣ1 Ⓣ2 Ⓣ3 – Точки измерения (перед трубой, в трубе, за трубой) | <ul style="list-style-type: none"> + + + + – Граниты монолитные ⋈ ⋈ ⋈ ⋈ – Граниты трещиноватые ▨▨▨▨ – Песок, супесь ⋄⋄⋄⋄ – Отсев (песчаная подушка) |
|---|---|

Для измерения параметров сейсмозрывных волн на трубе была задействована следующая электронная аппаратура:

- сейсмостанция Blastmate III с датчиками, устанавливаемыми в измерительных точках T1 и T3 (пропускная способность 2–300 Hz);

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

- сейсмостанція Minimate Plus с датчиком, устанавлюваним в точку Т2 (пропускна здатність 2–300 Hz);
- низкочастотна трьохканальна сейсмостанція «УГРА» с привязкою к спутникам через GPS, устанавлювана в точку Т2 (пропускна здатність 1–70 Hz).

Електронна апаратура фіксувала швидкості зміщення ґрунту і труби.

Результати вимірювань швидкості зміщення в трьох точках від чотирьох вибухів приведені в таблиці параметрів опытных вибухів (табл. 1), где v – виміряне значення швидкості зміщення ґрунту с помощью Blastmate III или Minimate (пиковый вектор суммы); R – расстояние от взрывной скважины (середины линии, соединяющей взрывные скважины) до соответствующей точки измерения.

Таблица 1 – Таблица распределения скоростей

Взрыв №	Общая масса ВВ, кг	Точка Т1		Точка Т2		Точка Т3	
		v , мм/с	R , м	v , мм/с	R , м	v , мм/с	R , м
1	14,4	183	10,2	60,2	15,2	46,1	19,2
2	86,4	221	15,9	40,5	20,9	29,4	24,9
3	32,5	364	9,8	99,7	14,8	63,2	18,8
4	14,4	291	6,6	49,0	11,6	26,7	15,6

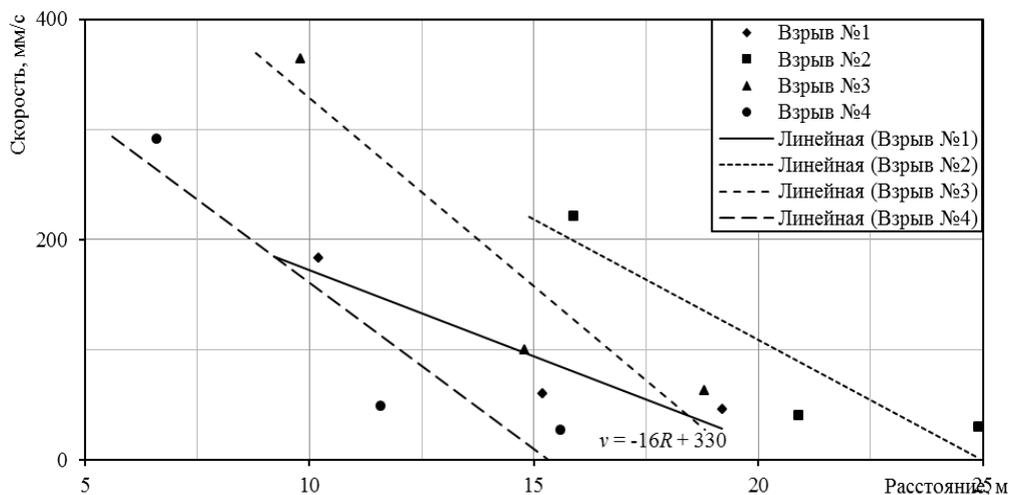


Рисунок 3 – Зависимость скорости колебания ґрунту в СВВ от эпицентрального відстані для чотирьох вибухів

На графіку, побудованому за даними табл. 1 (рис. 1), видно, що швидкість коливання ґрунту зменшується з відстанню. Причём швидкість при першому вибуху ($v = -16R + 330$) зменшується з відстанню не так різко, як при другому. При третьому і четвертому вибуху значення швидкості убиває з однаковою інтенсивністю, но гораздо резче, чем при первых двух вибухах. Это обуславливается тем фактом, что при первом вибуху СВВ распространялась в практически монолитной среде, и, как следствие, коэффициент затухания был ниже, чем

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

при последующих взрывах. Появившиеся после первого взрыва трещины повлияли на скорость колебания грунта в СВВ, поэтому при втором взрыве затухание скорости с расстоянием происходило интенсивнее. Далее, при третьем и четвёртом взрывах, затухание скорости происходило ещё более интенсивно.

Используя полученные результаты, можно рассчитать коэффициент затухания колебаний в СВВ с расстоянием.

Из таблицы видно, что при поверхностном расположении датчика, установленного между существующей охраняемой трубой и эпицентром взрыва (горизонтальное расстояние от поверхностного датчика до оси трубы 5 м), скорость на поверхности (точка измерений Т1) и скорость в трубе (точка измерений Т2) различаются минимум в три раза.

Исходя из того, что распространение СВВ при первом взрыве происходило в неповреждённой породе, и при данных условиях ведения БВР коэффициент затухания был минимальным, полученное значение равно трем можно принять в качестве *рекомендованного значения оценки сейсмического воздействия* на заглублённый объект, при ведении замеров воздействия СВВ с наземным расположением фиксирующей аппаратуры.

При проведении мониторинга параметров БВР вблизи существующих подземных объектов, скорость колебания грунта в СВВ, как правило, фиксируется датчиками, расположенными на поверхности. Учитывая результаты, полученные в эксперименте, для оценки колебания трубы следует разделить значение скорости, зарегистрированные поверхностным датчиком, на три.

Таблица 2 – Таблица распределения частот амплитудных максимумов

№ п/п	Точка Т1				Точка Т2				Точка Т3			
	R, м	Частота, Гц			R, м	Частота, Гц			R, м	Частота, Гц		
		tran	vert	long		tran	vert	long		tran	vert	long
1	10,2	4,0	10,5	2,3	15,2	15,3	12,8	28,8	19,2	3,3	12,8	20,8
2	15,9	2,0	1,8	6,0	20,9	12,3	17,0	29,3	24,9	12,8	17,0	12,0
3	9,8	2,3	1,5	2,0	14,8	8,0	12,5	12,3	18,8	2,3	12,5	12,8
4	6,6	1,8	2,0	2,0	11,6	10,8	12,5	17,3	15,6	2,3	12,8	12,8

В табл. 2 в ячейках *tran*, *vert* и *long* указаны значения частот, на которых находился максимум амплитуды в амплитудном спектре, построенном для каждой составляющей взрыва [2]. В данном случае *tran*, *vert* и *long* – тангенциальная, вертикальная и радиальная составляющие колебания.

Из табл. 2 видно, что частоты амплитудного максимума зарегистрированные в Т1, ниже, чем частоты зарегистрированные в других точках. Это может быть связано с особенностями ландшафта (рис. 1). Этот факт стоит учитывать при прогнозировании частоты колебаний [3, 4] в подземных конструкциях, при мере показаний на поверхности.

ПИТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВІДКРИТІЙ І ПІДЗЕМНІЙ РОЗРОБЦІ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Из табл. 2 также видно, что максимумы амплитуд радиальной составляющей, в основном, соответствуют более высоким частотам, нежели для вертикальной и тангенциальной составляющих, независимо от расстояния до эпицентра взрыва.

ВЫВОДЫ. 1. При производстве БВР скорость колебания грунта в СВВ затухает с расстоянием согласно уравнению: $v = -16R + 330$ (для условий проведения эксперимента: характеристики грунта, ландшафт и пр.).

2. При производстве БВР для расчёта сейсмической нагрузки на подземный газопровод, при поверхностном расположении датчика, следует делить показания скорости, зарегистрированной датчиком, на 3 (при производстве БВР в непосредственной близости от трубы, и расстоянии от её оси до датчика в сторону взрыва $\cong 5$ м).

3. Максимумы амплитуд радиальной (*long*) составляющей скорости часто соответствуют более высоким частотам, нежели максимумы амплитуд вертикальной (*vert*) и тангенциальной (*tran*) составляющих, независимо от расстояния до эпицентра взрыва.

4. Максимумы амплитуд, зарегистрированные датчиком, расположенным на поверхности, находятся на более низких частотах в сравнении с показаниями, полученными от заглублённых датчиков.

ЛИТЕРАТУРА

1. СТО Газпром 2–2.1–249–2008 «Магистральные трубопроводы». – М.: ООО «ВНИИГАЗ», 2008.
2. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1972. – Вып. I. – С. 263–297; Вып. II. – С. 194–202.
3. Тимошенко С.П. Теория колебаний в инженерном деле. – Л.: ГТТИ, 1934. – С. 246 – 278.
4. Густов С.В., Суrowицкий Л.В., Виноградов Ю.И. Зависимость частотных характеристик сейсмических волн от параметров массовых взрывов // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Вып. 3/2012 (74). – Кременчук: КрНУ, 2012. – С. 106–109.

REVIEW OF EXPERIMENT ON THE CREATION OF THE GAS PIPELINE MODEL AND IMPACTS OF DRILLING AND BLASTING OPERATIONS ON THIS GAS PIPELINE

L. Surovitsky

Alliance Electro Ltd.

Pesochnaya nab., 40, Saint-Petersburg, 197110, Russia. E-mail: surovitsky@mail.ru

I. Zharikov

IPKON RAN

Kryukovsky Tupik, 4, Moscow, 111020, Russia. E-mail: zharikov@ipkonran.ru

Yu. Vinogradov

National Mineral Resources University

21 liniya 2, V.O., Saint-Petersburg, 199106, Russia. E-mail: vinogradov@spmi.ru

A physical model of the existing gas pipeline have been created in accordance with bedding conditions of the real existing gas pipeline. A series of explosions has been carried out at different distances from the pipe model, level of the seismic impact has been measured into the modeling pipeline. Level of the seismic ground motion near the pipe model has been measured. Correction factor has been calculated.

Key words: seismic impact, blast, pipeline construction, drilling and blasting parameters.

REFERENCES

1. STO Gazprom 2-2.1-249-2008 "Pipelines". – Moscow LLC "VNIIGAZ", 2008. [in Russian]
2. Jenkins G., Watts D. Spectral analysis and its applications. – M.: Mir, 1972. – Issue I. – PP. 263–297. [in Russian]
3. Timoshenko S.P. Theory of oscillations in engineering. – L.: GTTI, 1934. – PP. 246– 278. [in Russian]
4. Gustov S.V., Surovitskiy L.V., Vinogradov Yu.I. The dependence of the frequency characteristics of the seismic waves from the parameters of massive explosions // Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University: Proceedings KrNU. – Kremenchuk: KrNU, 2012. – Iss. 3/2012 (74). – PP. 106–109. [in Russian]

Стаття надійшла 12.10.2013.

УДК 622.016.4.001.55

ДО ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ПРОТЯЖНИХ ВИРОБОК ІЗ МЕТАЛЕВИМ КРІПЛЕННЯМ, ЩО ПРАЦЮЄ В УМОВАХ НЕРІВНОМІРНОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ

Г. Г. Сторчак, Г. Ю. Король, С. М. Гапєєв

Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет»
просп. Карла Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна.

E-mail: gleb_storchak@ukr.net

На основі аналізу великої кількості даних про фактичний стан виробок шахт України встановлено фактори, які є причиною втрати експлуатаційного стану виробок через відмову систем кріплення за фактором «несиметричне навантаження–непаспортний режим роботи». Виконаний аналіз цих факторів дозволив виділити найбільш вагомі з них у групі технологічних факторів, тобто залежних від технології і якості робіт. Оцінено ефективність заходів боротьби з несиметрією завантаження кріплення та показані їх переваги та недоліки, а також їх неуніверсальність, що дозволяє розглядати розробку простих, ефективних і недорогих нових способів боротьби з несиметрією завантаження та вдосконалення існуючих заходів як актуальну науково-технічну задачу.

Ключові слова: рамне сталеве кріплення, схеми навантаження рами, несиметричне завантаження, компенсація завантаження, пасивний розпірний елемент.