

ОПЫТ МЕЖСКВАЖИННОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ СТЕНЫ В ГРУНТЕ

М.С. Судакова <1, 2>

А.Ю. Калашников <3, 4>

А.Ю. Харитонов < 4 >

<1> МГУ имени М.В. Ломоносова,

<2> ИКЗ ТюмНЦ СО РАН,

<3> МГСУ

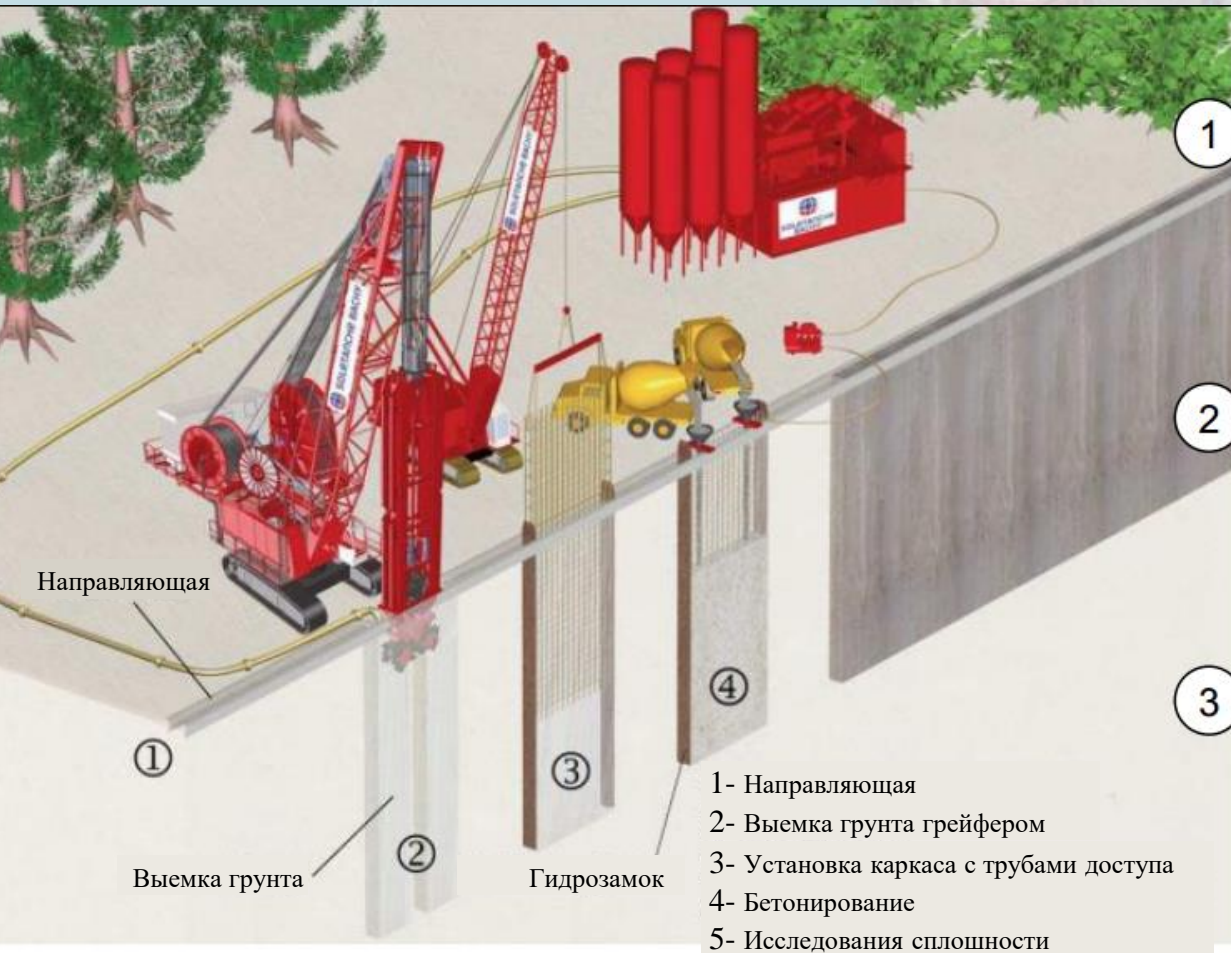
<4> ООО «Технотест»



Стена в грунте

«Стена в грунте» (СВГ) - общее название подземных конструкций (монолитных, сборных, сборно-монолитных или свайных), предназначенных для защиты стен (откосов) котлованов глубокого заложения от обрушения в процессе их разработки, создания противодиффузионных завес и, в случае совмещения функции фундамента, восприятия нагрузок от сооружения. СВГ является наиболее эффективным способом при устройстве подземных сооружений в условиях плотной застройки мегаполисов, вблизи существующих зданий и сооружений без нарушения их устойчивости и создания дополнительных динамических нагрузок в процессе изготовления ограждающих конструкций. СВГ, устроенные в подземном пространстве, вследствие высокой прочности и долговечности бетона, в некоторых случаях являются единственно возможным способом защиты котлована при проходке в условиях плотной городской застройки, кроме того - такой способ позволяет отказаться от применения дорогостоящих металлических труб и шпунта для крепления стен котлована, что приводит к значительному удешевлению и сокращению сроков строительства. Максимальная эффективность СВГ достигается заглублением конструкции в водоупорные грунты, что дает возможность полностью отказаться от открытого водоотлива или водопонижения.

Технология изготовления



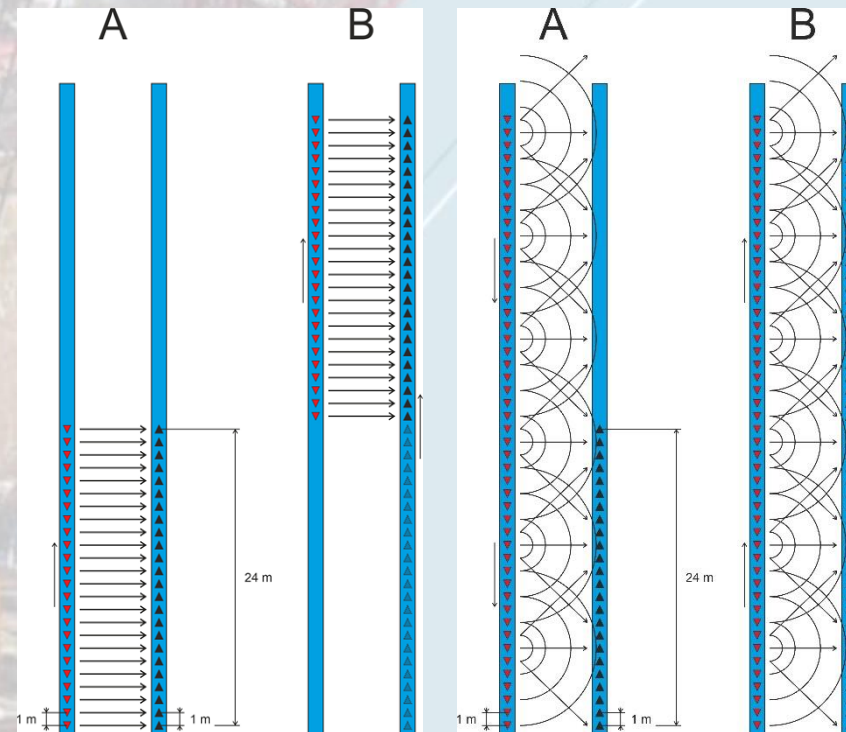
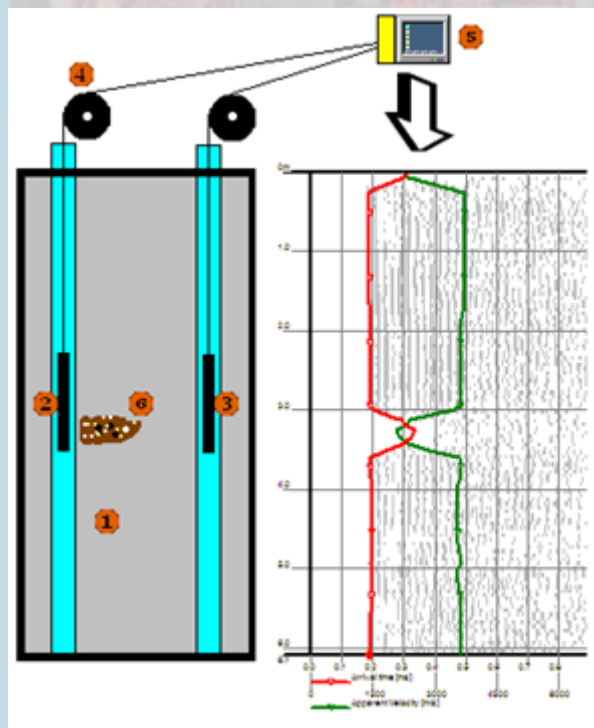
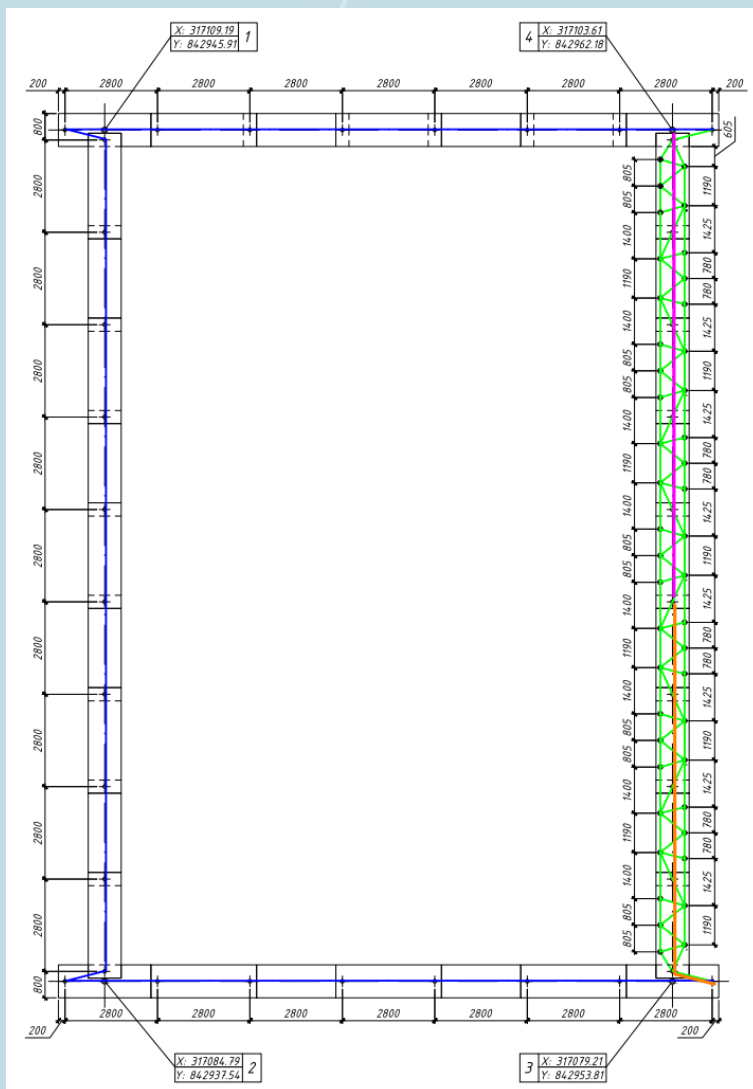
Преимущества и недостатки СВГ

Но следует отметить, что наряду с преимуществами проходка выработок под защитой СВГ может сопровождаться тяжелыми авариями. При наличии зоны несплошности (дефекта) в ограждении водонасыщенные, текучие грунты могут проникать внутрь выработки. Дальнейший вынос грунта в котлован может приводить к оседанию грунта и образованию провалов за ограждающей конструкцией с сопровождающейся деформацией фундаментов зданий, падением строительной техники, оползнями и обвалами, - именно поэтому очень важно выявить наличие дефектов массива СВГ на раннем этапе до начала экскавации котлована.

Сплошность изготовления СВГ означает однородное заполнение всего объема проходки бетоном, имеющим проектные свойства. Контроль качества бетона не представляет труда и может проводиться как по контрольным образцам, так и путем выбуривания и испытания кернов. В отличие от определения сплошности массива СВГ буровыми методами (что довольно затруднительно, т. к. для этого необходимо проводить сплошной отбор керна по достаточно густой сетке скважин) применение акустических методов значительно сокращает трудоемкость, а значит - и стоимость работ.



Методика исследования



1- проверяемый объект; 2- излучатель;
3- приемник; 4- специальная катушка с
измерителем глубины; 5-
регистрирующий компьютер; 6-
нарушение сплошности.

**Расстояния между скважинами
от 0.8 до 1.5 м**

1) однолучевое параллельное просвечивание, 2)
томографическое просвечивание А — начальное положение
гидрофонной косы и последовательные положения
источника сейсмических колебаний; В — последующее
положение гидрофонной косы и соответствующие ему
последовательные положения источника.

Расстояния между скважинами от 2.8 до 8.5 м

Условные обозначения:

- — профили ультразвукового метода просвечивания;
- — профили сейсмического параллельного метода просвечивания;
- — профили сейсмического томографического метода просвечивания;
- — профили по выбранному варианту межскважинного сейсмического метода.

Аппаратура



1 - накопитель энергии Jack-500; 2 - катушка с электроискровым излучателем Pulse; 3 - эластичные кожухи электроискрового излучателя Pulse; 4 - электрод электроискрового излучателя, помещаемый в кожух



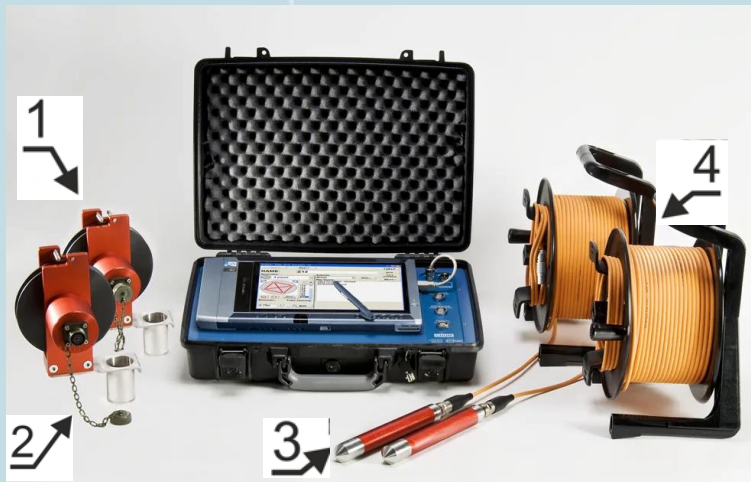
Гидрофонная коса WellStreamer (1) с аккумуляторным блоком (2) и гидрофон,



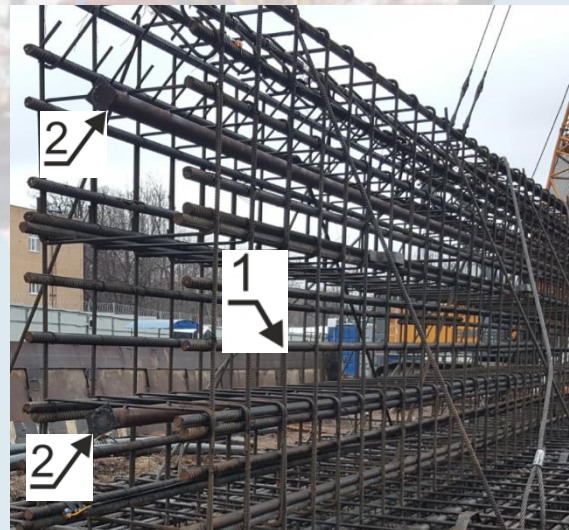
ASTM D4428/D4428M-14
«Standard Test Methods for
Crosshole Seismic Testing»



Обсадная ПВХ труба



1 – компьютер с накопителем данных; 2 - катушки с энкодером; 3 – приемник и узк-излучатель; 4 – катушки с кабелем;

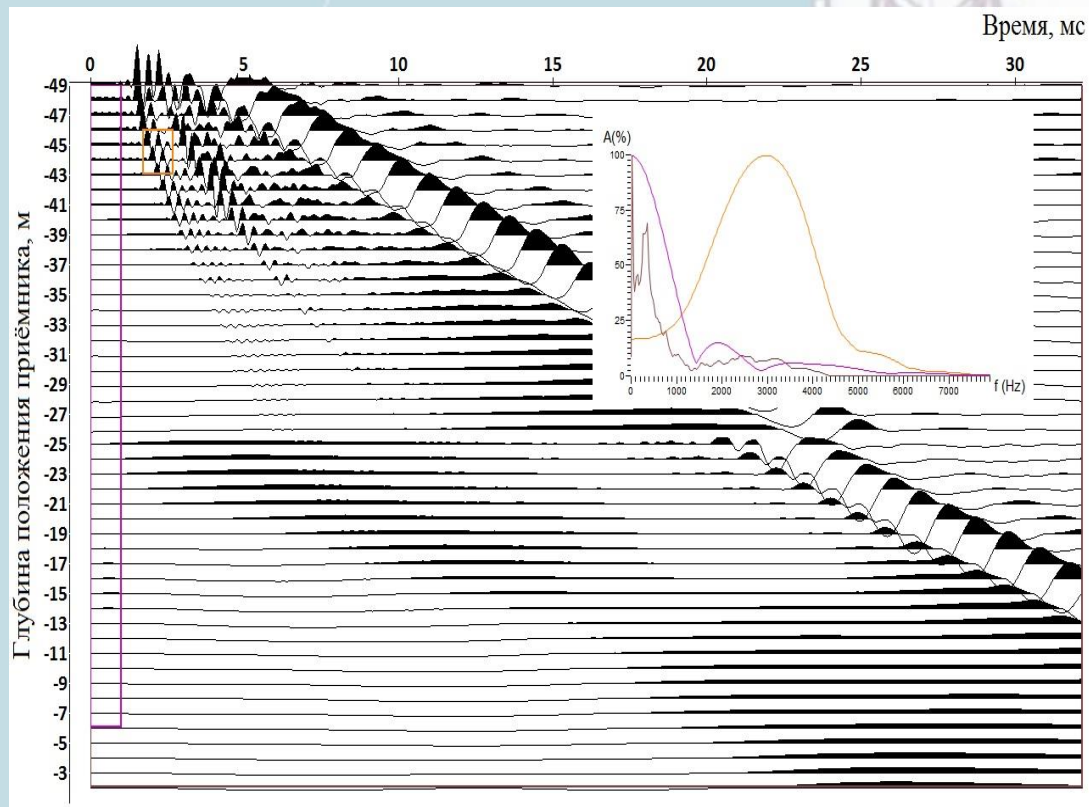


1 – арматурный каркас; 2 – стальные трубы доступа;

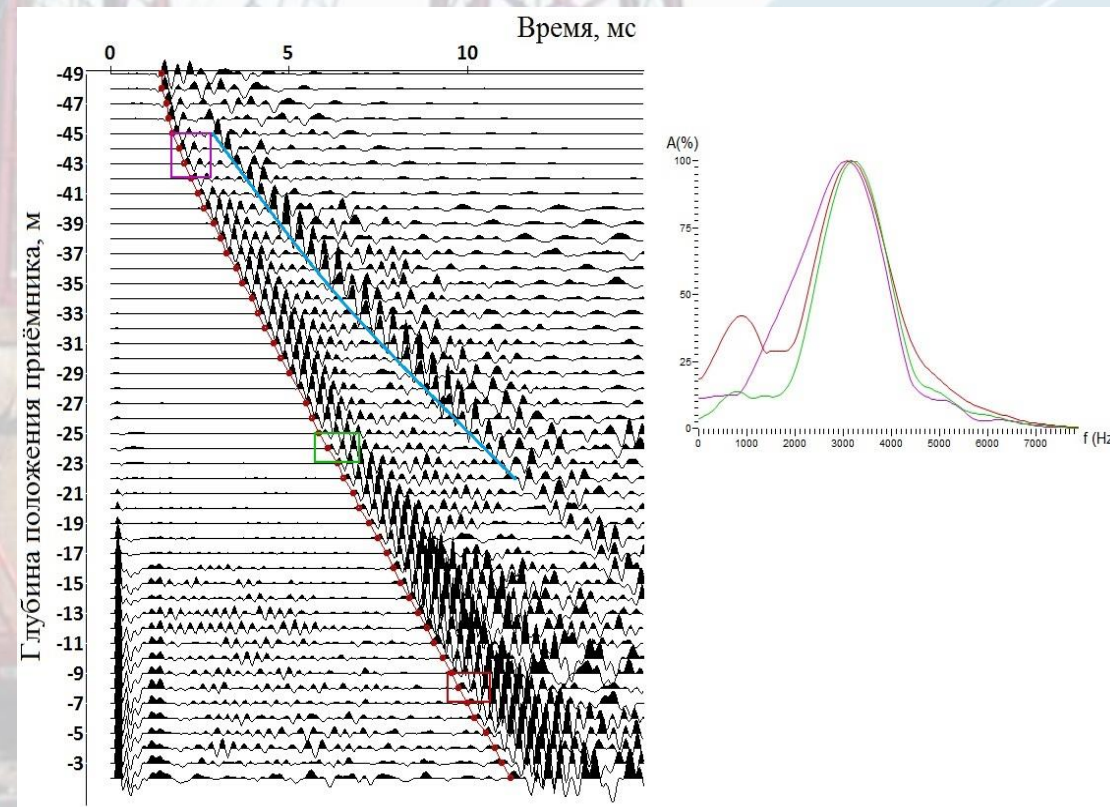
ASTM D6760 - 16: Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing - *Стандарт Американского общества по испытаниям и материалам D6760 - 16: Стандартный метод испытания целостности бетонных фундаментов глубокого заложения с помощью ультразвукового межскважинного тестирования.*

AFNOR (1993): Norme Franaise NF P 94-160-1-2000 - Auscultation d'un element de fondation - partie 1: Methode par transparence - *Стандарт Французской ассоциации стандартизации: «Испытание ультразвуковым методом элемента фундамента». Часть 1: Метод просвета.*

Примеры данных МСП



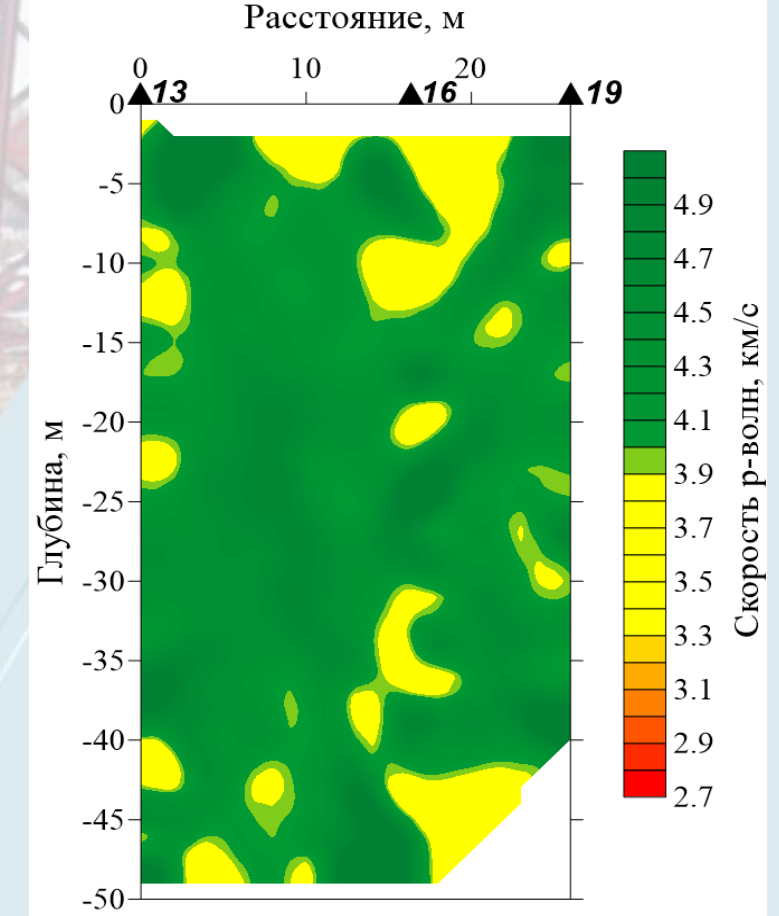
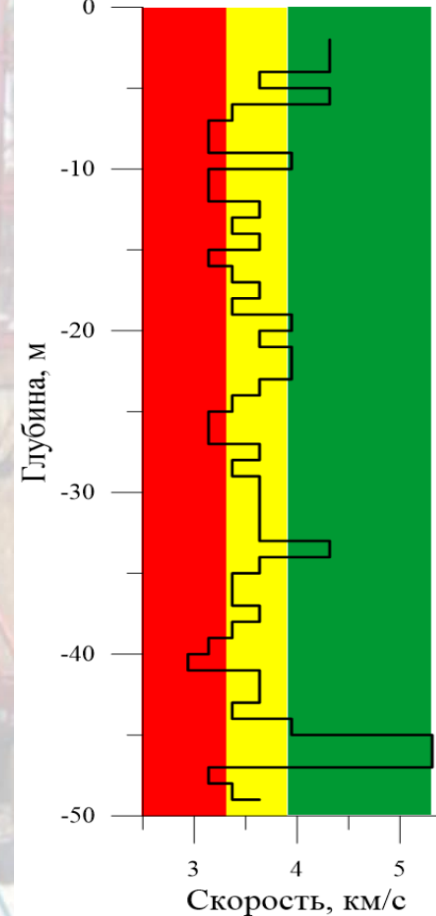
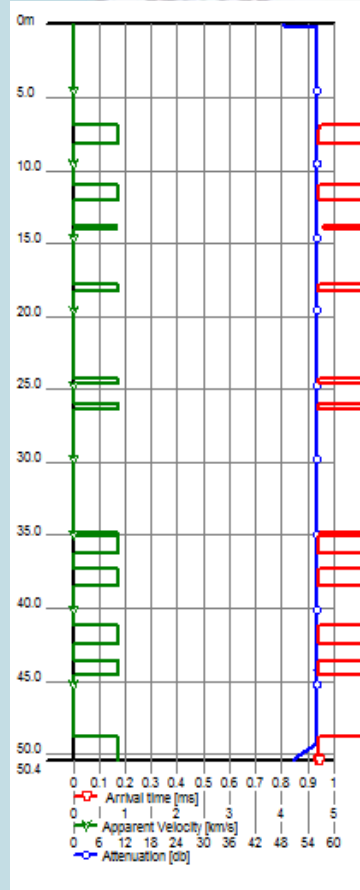
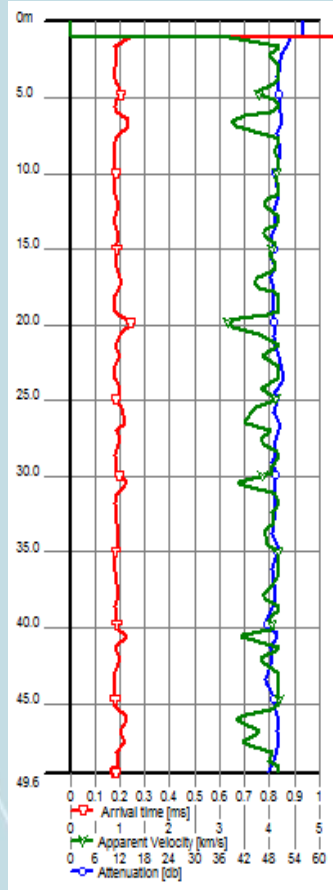
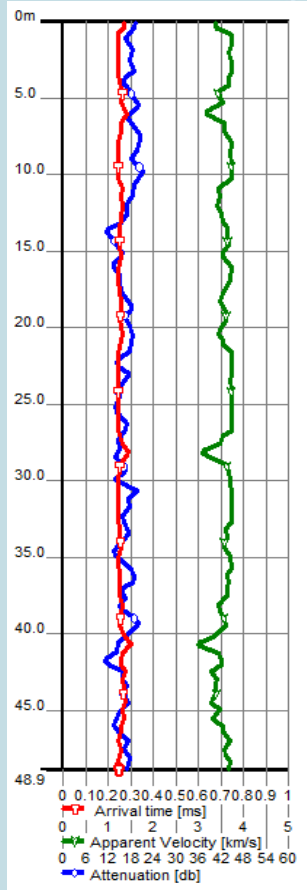
Данные до обработки (источник в скважине 1 на глубине 49 м, приёмники - в скважине 2). Расстояние между скважинами 5.7 м.
Применено индивидуальное выравнивание амплитуд



Данные после обработки (красным показаны вступления продольной волны, синим - поперечной).
Применено индивидуальное выравнивание амплитуд

Кондиционные данные получены для всех положений приемников. На данных отчетливо выделяется сигнал, его спектр лежит в области частот 500 – 5000 Гц, центральная частота порядка 3300 Гц. Красной линией показана пикировка первых вступлений. Также на данных в последующих вступлениях для положения источника и приемников на разных глубинах наблюдаются поперечные волны (показаны синим). Справа от данных приведены спектры прямой продольной волны (первых вступлений), соответствующие разным глубинам положения источника. Центральная частота сигнала равна примерно 3300 Гц для всех глубин. И центральная частота, и ширина спектра с глубиной меняются незначительно, что говорит о низком поглощении в исследуемой среде и ее высоких деформационно-прочностных свойствах.

Результаты



Пример результата УЗК контроля с расстоянием между трубками внутри панели 0,8 м и на стыке панелей 0,6 и 0,8 метров.

Пример результата параллельного просвечивания.

Пример результата томографии

КАЧЕСТВО БЕТОНА	СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА В БЕТОНЕ (М/С)
Плохое	<2700
Удовлетворительное	2700-3300
Хорошее	3300-3800
Очень хорошее	3800-4000
Отличное	>4000

Neville, A.M, 2011 Properties of Concrete. Pearson Education Limited, Essex. 872 p.

IAEA-TCS-17 (2002): GUIDEBOOK ON NON-DESTRUCTIVE TESTING OF CONCRETE STRUCTURES, IAEA, VIENNA, pp. 110-111.

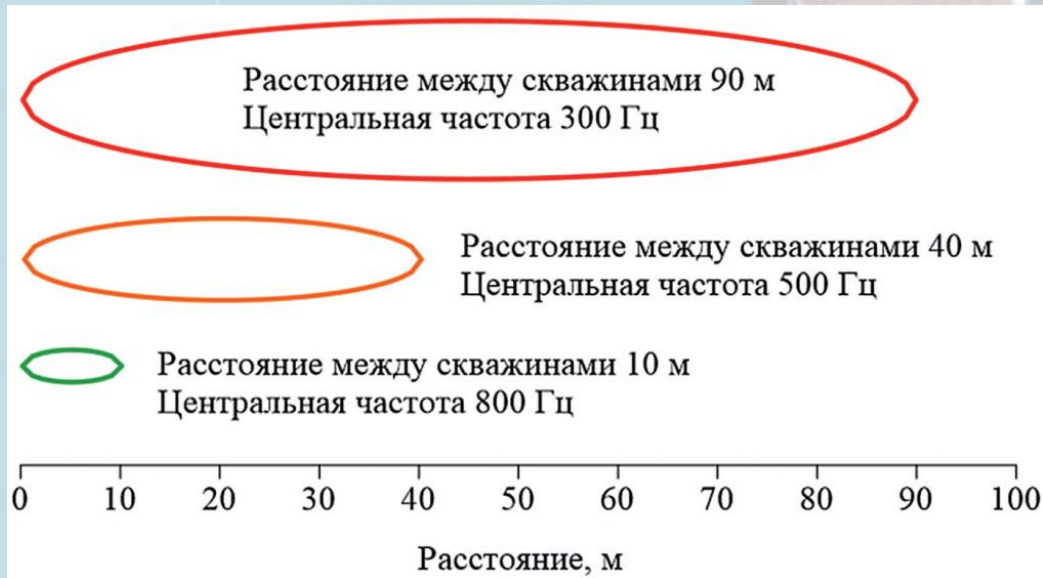


Разрешающая способность

Способ 1 (Nolet, 1990, Кауфман и др., 2003):

$$r = \frac{1}{2\sqrt{2}} \sqrt{\lambda L}$$

L – расстояние между И и П, λ – длина волны



Сечение лучевых трубок для однородной среды со скоростью продольных волн 1700 м/с при разных центральных частотах сигнала и расстояниях между скважинами

Владов М.Л., Стручков В.А., Судакова М.С., Шмурак Д.В., 2020. Томографические просвечивания при больших межскважинных расстояниях: негативные факторы. Инженерные изыскания, Том XIV, № 2, с. 42–51, <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2020-14-2-42-51>

Способ 2 (Lehman, 2007):

$$r = \frac{\Delta t}{\Delta V} (V_{\text{ср}} * V_{\text{ан}})$$

Δt – ошибка пикировки, ($1/4$ периода на преобладающей частоте)

$V_{\text{ср}}$ – средняя скорость в среде,

$V_{\text{ан}}$ – скорость в аномалии,

ΔV – разница между $V_{\text{ср}}$ и $V_{\text{ан}}$

$V_{\text{ср}} = 4200$ м/с,

$V_{\text{ан}} = 3500 \div 5500$ м/с,

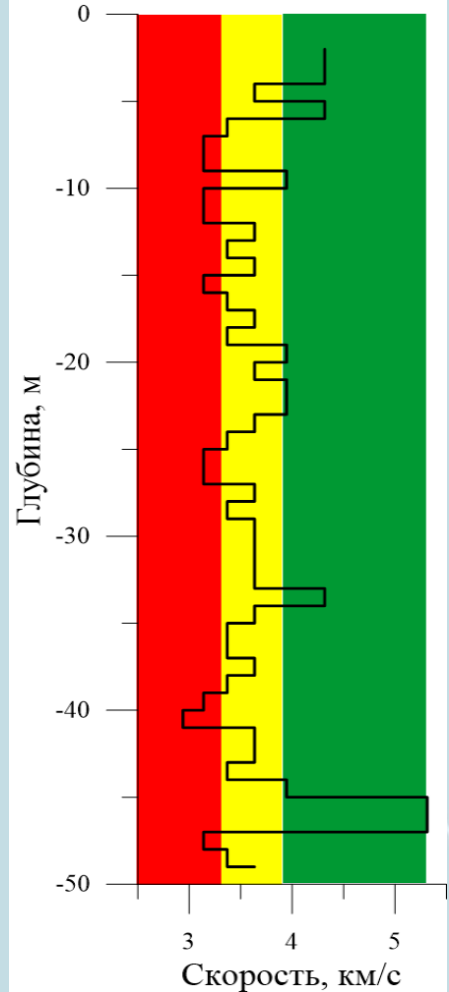
$f = 3300$ Гц

Способ 1 $r = 1.2 \div 2.5$ м

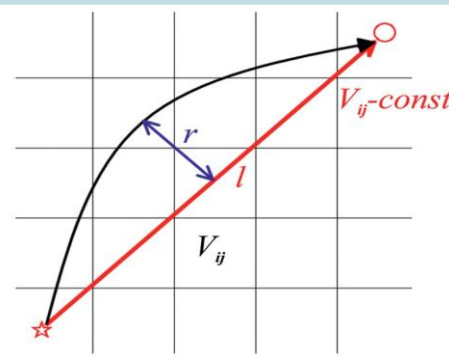
Способ 2 $r = 1.3 \div 1.6$ м

Частота передатчика (кГц)	20	30	60	100
Длина волны λ (мм)*	175	117	58	35
Порог обнаружения (мм)	350	234	116	70

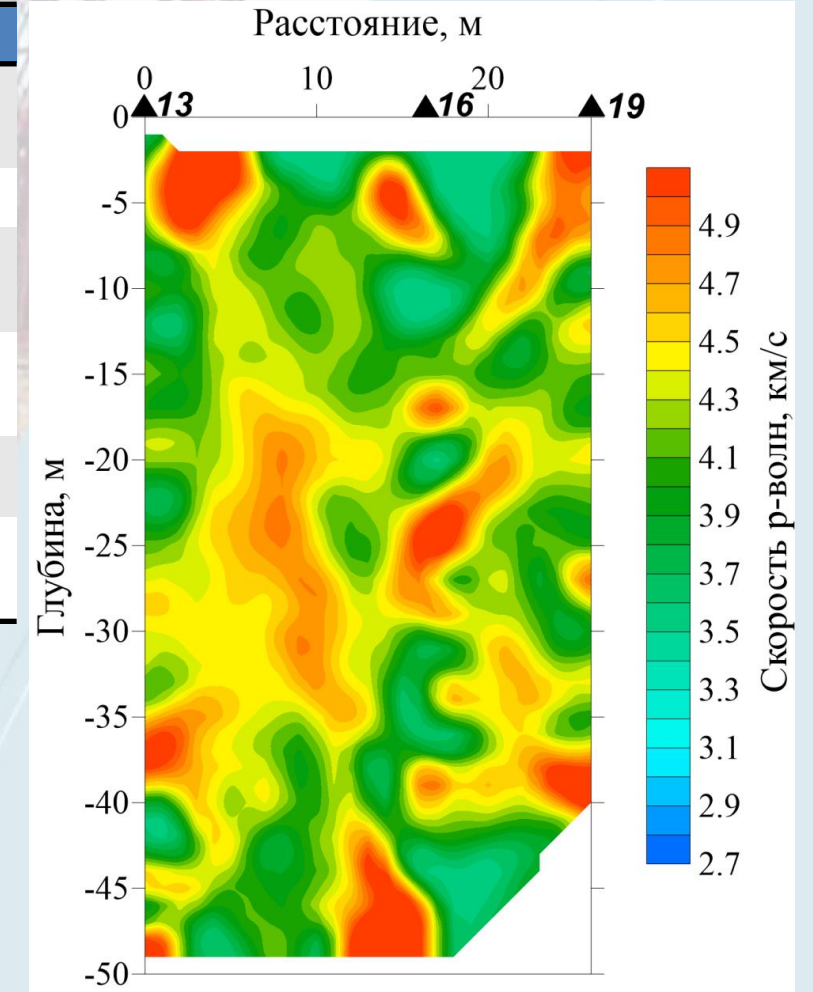
Сравнительная характеристика Томо и ПП



Параметр	ПП	Томо
Размерность пространства	1D	2D
Число лучей	48	48 X 48 = 2304
Среднее значение скорости, м/с	3700	4200
Преломление лучей на границах	Не учитывается (прямые лучи)	Учитывается (ломаные лучи)
Поперечные волны	Не выделяются	Уверенно выделяются
Качество бетона на площадке	Хорошее	Отличное



Путь сейсмического сигнала в среде с постоянной скоростью (показан красной стрелкой) и с переменной (показан чёрной стрелкой) (Владов и др. , 2020)



Средние скорости продольных волн в стене в грунте, полученные по разным методикам, приведены в таблице. Средние значения скорости, полученные по методике ПП, ниже на 5 – 10%, чем полученные по методике МСП. Это объясняется следующими факторами. По результатам томографического просвечивания средняя скорость продольных волн в объекте исследования составляет 4200 м/с, при этом значение скорости колеблется от 3500 м/с до 5500 м/с (16 – 30% от среднего). Такой разброс скоростей приводит к преломлению лучей, по которым распространяется энергия сейсмического сигнала, и расстояние, которое в итоге проходит луч от источника к приемнику, будет длиннее отрезка, соединяющего источник и приемник по прямой. Так как при параллельном просвечивании обратная задача решается в одномерном приближении и все лучи полагаются прямыми, то значение полученной скорости будет меньше истинного.

Выводы и заключение

1. По результатам применения метода ультразвукового тестирования для контроля сплошности бетонирования и целостности панелей траншейных стен опытного участка и стыков между ними можно сделать вывод о том, что технология пригодна только для контроля собственно панелей траншейных стен, но не пригодна для контроля стыков между ними.
2. Разница в определении скоростей по данным различных модификаций метода МСП возникает из-за разницы в геометрии путей сейсмических волн, причём скорости, определяемые по данным измерений методом параллельного просвечивания ниже получаемых по методу томографии.
3. Применение метода томографического просвечивания является предпочтительным для определения качества бетона стены в грунте: получаемые значения скоростей ближе к истинным, плотность наблюдений на несколько порядков выше, чем в случае с параллельным просвечиванием, что позволяет увеличить расстояние между скважинами без потери качества данных, при приблизительно равной скорости производства работ.
4. Расчет скоростей поперечных волн в данных работах не проводился, однако на данных МСП они выделяются уверенно (слайд 7, синяя линия), что делает возможным дальнейший переход от скоростей продольных волн к деформационно-прочностным характеристикам материала СВГ.



Спасибо за внимание!