

Критерием опасности по распространению опасности служит удельный вес распространения опасных геологических процессов на трассах магистральных трубопроводов. Выделяется следующая классификация опасных геологических процессов:

- наиболее опасные, занимающие более 75% трассы магистральных трубопроводов;
- опасные, занимают от 50 до 75% трассы магистральных трубопроводов;
- средние от 25 до 50% территории трассы магистральных трубопроводов;
- малозначительные от 0 до 25% территории трасс магистральных трубопроводов;
- отсутствует, не влияет или практически не влияет на функционирования магистральных трубопроводов менее 5% трассы магистральных трубопроводов.

**Заключение.** Наиболее опасным для функционирования магистрального трубопровода являются территории с распространением агрессивных подземных вод. Это связано, прежде всего, с активацией и ускорением коррозионных процессов на трубы и бетонное основание. Результатом этого воздействия является медленное изменение экосистем, расположенных в пределах трасс магистральных трубопроводов. Трансформация экосистем обусловлена изменением температурного и химического режима почвы, появления новых видов растений и др.

#### Список цитированных источников

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Закон Республики Беларусь от 10.01.2000. - № 363-3.
2. Правила охраны магистральных трубопроводов. - Минск, 2006.
3. Вагин, В.А. Воздействие геологических факторов на эксплуатационную надежность магистральных трубопроводов / В.А. Вагин // Научно-технический сборник серии транспортировки и хранения газа. - № 3. - 2005. - С. 19-20.
4. Коршак, А.А. Обеспечение надежности магистральных трубопроводов / А.А. Коршак, Г.Е. Коробков, В.А. Душин, Р.Р. Набиев. - Уфа: УГНТУ, 2004. - 170 с.
5. Колпашников, Г.А. Происхождение и свойства лессовидных отложений в Республике Беларусь / Г.А. Колпашников // Геотехника Беларуси: наука и практика: сборник материалов Международной научно-технической конференции. - Минск, 2003. - № 3-4. - С. 273-278.
6. Колпашников, Г.А. Агрессивность грунтовых вод Белорусского Полесья / Г.А. Колпашников, Р.И. Ленкевич // Вестник Белорусского национального технического университета. - 2004. - № 3. - С. 4-7.

УДК.550.837

## ОЦЕНКА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ПУТЕМ АНАЛИЗА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ СРЕДЫ

Казарин Б. А., Казарин А. Б.

**Введение.** Основным фактором, влияющим на выбор конструкции фундаментов зданий и сооружений, является несущая способность основания. Она непосредственно зависит от физико-механических свойств грунта, которые могут быть определены или прямым путем, или косвенным с использованием геофизических методов. Отбор образцов грунта в процессе бурения скважин позволяет определить тип грунта, провести его гранулометрический анализ, сделать оценку влажности и пористости. Знание физических свойств и априорных корреляционных зависимостей делает возможной оценку механических свойств

грунтов: модуля деформации  $E$ , силы сцепления  $C$ , угла внутреннего трения  $\varphi$  и сопротивления грунта  $R$  (рис. 1). Однако инженерно-геологические разрезы, построенные по результатам бурения скважин оказываются не всегда корректными и тем самым являются источником ошибок при проектировании. Некорректность связана с использованием при построении разрезов 3-х спорных предположений: Предположение 1 – Если в двух соседних скважинах залегают (не залегают) слои однотипных грунтов, то они будут залежать (не залежать) в пространстве между скважинами. Предположение 2 – Если в двух соседних скважинах зарегистрировано наличие (отсутствие) подземных вод, то в пространстве между скважинами имеет место наличие (отсутствие) подземных вод.

Предположение 3 – Верхняя и нижняя границы какого-либо слоя грунта, который, в соответствии с предположением 1, залегают в пространстве между двумя соседними скважинами, определяется путем линейной интерполяции границ слоя, зафиксированного в скважинах.

**Анализ экспериментальных данных.** Как показала практика, использование этих предположений может привести к ошибке в оценке геологической обстановки при изучении грунтов естественного сложения, если расстояние между скважинами превышает 10 метров. В насыпных грунтах это расстояние может составлять 1–2 метра. Независимо от вида сложения грунтов при расстоянии более 1–2 метра между скважинами может быть допущена ошибка в оценке гидрогеологической обстановки. Поскольку некорректность инженерно-геологических разрезов, построенных на основании прямых измерений, связана с дискретностью отбора образцов, она может быть устранена путем бурения комплексирования результатов бурения с данными других изысканий, информативная дискретность которых соизмерима с диаметром скважины. В условиях плотной городской застройки и наличии развитой системы подземных коммуникаций наиболее эффективным геофизическим методом является радиолокационное подповерхностное зондирование. Суть этого метода электроразведки заключается в следующем. В процессе перемещения антенной системы георадара вблизи поверхности земли вдоль выбранного профиля происходит периодическое излучение в подповерхностную среду коротких электромагнитных сигналов. В промежутках между зондирующими сигналами происходит прием сигналов, отраженных от всех неоднородностей подповерхностной среды, расположенных в пределах главного лепестка амплитудной диаграммы направленности антенной системы. Обработка временных зависимостей амплитуд отраженных сигналов позволяет построить т.н. радиолокационные изображения подповерхностной среды в плоскости выбранного профиля. В общем случае, под РЛИ понимается двумерная цветная (черно-белая) матрица масштабным размером  $L \times Z$  (где  $L$  – длина профиля,  $Z$  – глубина зондирования), каждая ячейка которой соответствует разрешаемому георадаром объему подповерхностной среды, а её цвет (оттенок) – амплитуде радиолокационного сигнала, отраженного от данного объема. Определение физических свойств грунтов путем анализа РЛИ является задачей обратной и поэтому, в принципе, некорректной. Амплитуда сигнала, отраженного от разрешаемого объема подповерхностной среды зависит от частоты зондирующего сигнала, поляризации свойств приемной и передающей антенн, размеров частиц грунта, пористости, влажности, концентрации солей в поровой воде и её температуре (рис. 2). Чтобы свести некорректность оценки физических свойств к минимуму, необходимо, чтобы измерения выполнялись в соответствии с теоремой Боярского. На практике это означает, что

длина профиля должна быть максимально большой (угол наблюдения локальной неоднородности в подповерхностной среде должен быть близким к  $180^\circ$ ), а сами измерения выполнены в максимально широкой полосе частот (реально от 20 до 2000 МГц) для всех 4-х компонент поляризационной матрицы рассеяния  $S_n$ . В линейном базисе

$$S_n = \begin{vmatrix} E_{zz} & E_{z\theta} \\ E_{\theta z} & E_{\theta\theta} \end{vmatrix},$$

где  $E_{zz}$ ,  $E_{\theta\theta}$  – амплитуды отраженных сигналов, когда поляризационные параметры приемной и передающей антенн совпадают;

$E_{z\theta}$ ,  $E_{\theta z}$  – амплитуды отраженных сигналов, когда поляризационные параметры приемной и передающей антенн взаимно ортогональны.

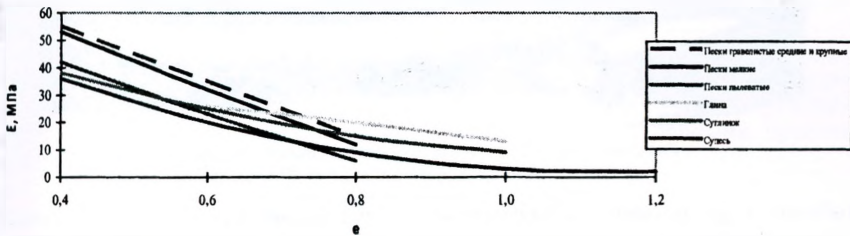


Рисунок 1 – Эмпирическая зависимость модуля деформации грунтов различных типов  $E$ , МПа от их коэффициента пористости  $e$

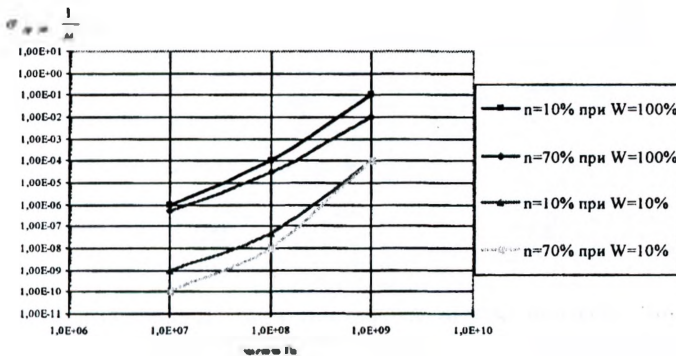


Рисунок 2 – Зависимость величины  $\sigma_{\text{эп,р,0}}$  песков средних в диапазоне частот при  $t = 10^\circ\text{C}$  и  $C = 10$  г/л.

Чтобы разрешаемый георадаром объем грунта был сравним с объемом кернов, необходимо, чтобы при построении РЛИ использовался алгоритм синтеза разрешения апертуры антенны. Реализация описанных выше условий позволяет строить радиолокационные изображения грунтов по их типу, пористости, крупности частиц и влажности. В этом случае они будут представлять собой радиолокационные томографические изображения (РлТИ). В качестве примера на рисунке 3 приведено РлТИ грунтов по относительной плотности. Измерения выполнялись на частоте 150 МГц для компоненты  $S_n$  ( $E_{\theta\theta}$ ). Место проведения из-

мерения – южная окраина д. Лошница Борисовского района. На РЛТИ черный (коричневый) цвет соответствует максимальной нормированной амплитуде сигнала, отраженного от разрешаемого георадаром объема  $E = 1,0-0,9$ . Желтый и зеленый цвета соответствуют минимальной нормированной амплитуде сигнала  $E = 0,1-0,01$ . Наличие на РЛТИ грунтов по относительной плотности ячеек, окрашенных в черный цвет, свидетельствует о том, что данный разрешаемый объем подповерхностной среды сложен или песками крупными, или песками плотными средними, или глинистыми грунтами.



Рисунок 3 – РЛТИ грунтов по относительной плотности (глубина 10 метров, длина профиля 20 метров)

Таблица 1 – Предварительная оценка физико-механических свойств грунтов, полученная на основании анализа РЛТИ грунтов

Номер слоя	Глубина залегания		Физические свойства грунтов			Механические свойства грунтов				
			Тип грунта	e	W, %	$\rho$ кг/см <sup>3</sup>	$\varphi$ , град	$C_n$ , кПа	E, МПа	R, кг/см <sup>2</sup>
	от	до								
1	0	0,5	Песок	0,65	35	2,2	35	1,0	30	2,8
2	0,5	1,0	Песок	0,65	35	2,2	35	1,0	30	2,8
3	1,0	1,5	Песок	0,68	35	2,07	34	0,6	27	2,8
4	1,5	2,0	Песок	0,65	70	2,75	32	2,0	30	2,8
5	2,0	2,5	Супесь	0,68	35	2,17	26	12	14	2,0
6	2,5	3,0	Песок	0,65	35	2,0	35	1,0	30	2,8
7	3,0	3,5	Супесь	0,65	5	1,72	27	15	16	2,6
8	3,5	4,0	Песок	0,6	35	2,25	36	1,5	35	3,0
9	4,0	4,5	Супесь	0,65	5	1,73	27	15	16	2,6
10	4,5	5,0	Песок	0,68	70	2,6	34	0,6	27	2,8

Решение обратной задачи дифракции (определение физических свойств грунтов по РЛТИ) происходит в следующей последовательности:

1. Анализируется РЛТИ по относительной влажности и определяется тип грунта (песчаный или глинистый) и его влажность. Признаком кровли слоя глинистого грунта является концентрация поровой воды над ним (черный цвет ячеек) и естественная влажность (желтый цвет ячеек) самого слоя. Как правило, на РЛТИ грунтов по влажности четко наблюдаются следы инфильтрации атмосферной воды в нижележащие слои песка вплоть до водоупора.

2. Анализируется РЛТИ по относительной плотности и делается предварительная совокупная оценка крупности песков и их коэффициента пористости. Практика показала, что при заданной крупности черный цвет ячеек соответствует значениям  $e = 0,4-0,5$ ; красный –  $e = 0,6-0,65$ ; желтый –  $e = 0,7-0,8$ . Чтобы различить пески по крупности и по коэффициенту пористости, необходимо выпол-

нить аналогичные измерения на более высоких частотах, так как с увеличением частот зондирующего сигнала различие в ЭПР заметно снижается (рис. 2).

3. На основании предварительной оценки типа грунта, его пористости и влажности и известных корреляционных связей между физическими и механическими свойствами грунтов, делается предварительная оценка модуля деформации  $E$ , расчетного сопротивления  $R$ , угла внутреннего трения  $\phi$ , удельного сцепления  $C$  и удельной плотности  $\rho$ . Пример такой оценки приведен в таблице 1.

**Заключение.** Предварительная оценка физико-механических свойств грунтов может быть получена на основании анализа радиоокационных изображений грунтов при обязательном выполнении трех условий:

1. Временные зависимости амплитуд отраженных сигналов должны регистрироваться, как минимум, на двух частотах зондирующего сигнала.

2. Временные зависимости амплитуд отраженных сигналов на каждой частоте должны регистрироваться как минимум для двух значений поляризационного параметра.

3. Радиолокационное изображение должно строиться с использованием синтеза апертуры антенны. Поскольку радиолокационное подповерхностное зондирование позволяет получить лишь оценочные значения физических свойств грунта, полученные результаты целесообразно сочетать с данными бурения, пенетрации и каротажа.

#### Список цитированных источников

1. Основания зданий и сооружений: СНиП 2.02.01-83. – М., 1985. – Приложение 1. – С. 27–29.
2. Левис. Обратная задача дифракции // Зарубежная радиоэлектроника, 1970. – № 2. – С. 110–113.

УДК 550.837

## ОСОБЕННОСТИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ ГРУНТОВ, СЛАГАЮЩИХ ДНО ВОДОЕМОВ

Казарин Б. А., Казарин А.Б.

**Введение.** Информация о свойствах грунтов, слагающих дно водоемов, может представлять интерес при оценке технического состояния различного рода сооружений, возведенных или непосредственно в пределах этих водоемов (мосты, дамбы, плотины, камеры шлюзов), или на некотором удалении от них. Это связано с тем, что дефекты фундаментов этих сооружений в ряде случаев являются следствием гидрогеологических связей между открытой водой и подземными фильтрационными потоками, залегание которых прослеживается и в основании дна водоемами, и в основании фундамента сооружения. Получение соответствующей информации путем бурения скважин с поверхности воды процесс трудоемкий и дорогостоящий. Бурение скважин вблизи береговой черты водоема с последующим построением инженерно-геологических разрезов, в общем случае, позволяет оценить только геологическую обстановку под дном водоема, и только при условии, что профиль дна вдоль каждого разреза заранее известен. Кроме этого, у обоих методов имеется один и тот же недостаток – они дают информацию истинную только для отдельных точек поверхности.

Процесс субъективной интерполяции, сопровождающий построение каждого разреза, автоматически предполагает погрешность в оценке сложения и свойств