

В.Н.Сергиенко, канд. техн. наук,
(ИГТМ НАН Украины)
А.А.Курочка, инженер
(НПП Технополис «Экоиндустрия»)
В.И. Соколовский, зам. директора
(ОАО «Донбасскрепь»)

ОБ ОБНАРУЖЕНИИ ПУСТОТ НА ГРАНИЦЕ КОНТАКТА ДВУХСЛОЙНЫХ СИСТЕМ

Описано двошарову фізичну модель, що включає геосередовище та бетонну оболонку. Представлено результати експерименту по виявленню порожнин на межі шарів з використанням ємнісного датчика.

ABOUT DETECTION OF INTERSTICES ON BORDER OF CONTACT DUPLEX SYSTEMS

The duplex physical model including Geological environment and a concrete casing is described. The results of experiment on revealing interstices on border of layers with use of the capacitive sensor are represented.

Значительное число объектов гидротехники, дорожного и подземного строительства можно в первом приближении представить как двухслойную систему, включающую геосреду и защитную оболочку. Основные категории указанных объектов представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные типы двухслойных геотехногенных систем

Область техники	Объекты, содержащие двухслойные системы	Элементы системы	
		геосреда	оболочка
гидротехника	противофильтрационная обделка каналов	грунт	бетонные и железобетонные плиты
	доковые части насосных станций	грунт	бетонные и железобетонные плиты, литой бетон
	водопрпускные и водосбросные сооружения	грунт, скальный массив	железобетонные плиты, литой бетон
	гидротехнические тоннели	грунт, скальный массив	литой бетон, железобетонные тубинги
шахтное строительство	шахтные стволы	грунт, скальный массив	литой бетон, железобетонные тубинги
	капитальные горизонтальные выработки	скальный массив	набрызгбетон
	подземные резервуары	скальный массив	бетон, железобетон
дорожное строительство	дорожное полотно	грунт и буферный насыпной слой	железобетонные плиты, литой бетон

Одним из условий работоспособности объекта является наличие плотного механического контакта на границе двух сред. Однако, в процессе длительной эксплуатации в геосреде за счет геофильтрационных процессов происходит

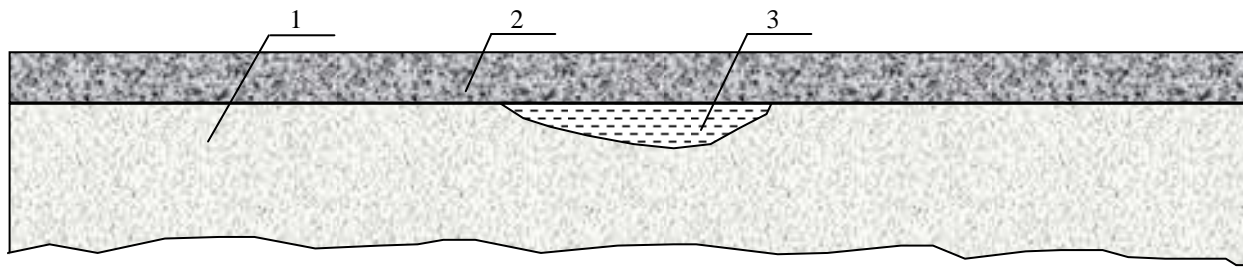
формирование пустот. В подземных объектах их наличие способствует аккумуляции воды за оболочкой и дальнейшей интенсификации процесса разрушения системы. Наличие пустот под горизонтальными или наклонными плитами противофильтрационного покрытия вызывает наличие в них механических напряжений, что приводит к появлению трещин в плитах. При наличии пустот большой площади возможно разрушение плит с образованием провалов.

Эффективным методом предотвращения развития полостей в геосреде является тампонаж. Однако его применение предполагает наличие информации о расположении и объемах пустот в заоболочечном пространстве. При небольшой площади покрытия поиск пустот может быть выполнен путем контрольного бурения. Однако во многих случаях площадь составляет тысячи квадратных метров и требуется применение экспресс-методов неразрушающего контроля для оценки состояния его контакта с геосредой. В настоящее время основным методом выявления пустот в геосреде под защитным покрытием является виброакустический [1, 2]. Его достоинствами являются:

- высокая производительность контроля;
- возможность выявления пустот за оболочкой толщиной до 1,2 -1,5 м;
- высокая устойчивость к электромагнитным помехам;
- наличие средств контроля, в том числе и в искровзрывобезопасном исполнении, что позволяет выполнять измерения в шахтах, опасных по газу и пыли.

С помощью виброакустического метода можно достаточно точно оконтурить границы полости под покрытием. Однако его принципиально неустранимым недостатком является невозможность оценки глубины полости. Для оценки объемов тампонажа при выполнении ремонтных работ, полученные результаты виброакустической диагностики приходится дополнять выборочным контрольным бурением на выявленных аномальных участках. Указанное обстоятельство обуславливает необходимость использования альтернативных методов неразрушающего контроля, которые давали бы возможность оценивать глубину или объем полостей без перебуривания защитной оболочки.

Наиболее известными в реализации данного направления являются работы Э.И. Арша [3, 4]. Его теоретические и экспериментальные исследования показали возможность использования высокочастотных автогенераторных устройств для выявления скрытых аномалий в породном массиве. Однако указанные исследования относились к среде в виде одного слоя с локальными нарушениями. Для возможности выявления нарушенные объемы должны отличаться от вмещающей среды электрической проводимостью, диэлектрической проницаемостью, магнитной проницаемостью, тангенсом диэлектрических потерь. В рассматриваемом авторами случае задача сложнее, поскольку рассматривается двухслойная система представленная схематически на рис. 1.

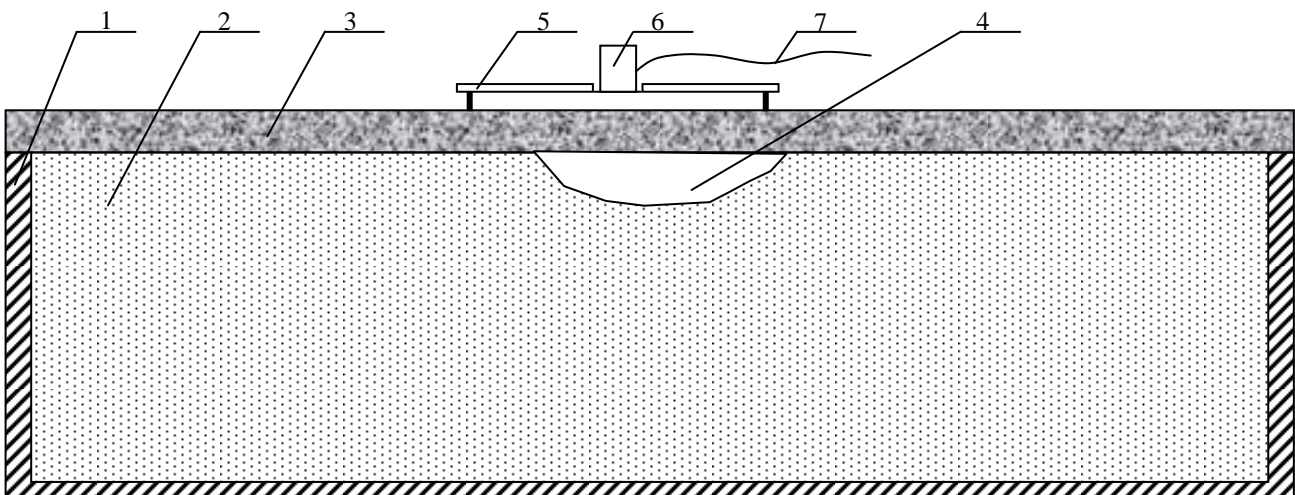


1 – геосреда, 2 – защитное покрытие, 3 – полость под покрытием

Рис. 1 – Простейшая двухслойная геотехногенная система с нарушением по контакту

В вариантах модели среды, исследуемых Э.И. Аршем она, в конечном счете, классифицировалась на две основные категории: проводники и диэлектрики. При наличии проводящей среды либо проводящей аномалии рекомендовано использование индуктивных датчиков, а в противном случае – емкостных. Одной из особенностей слоя, имитирующего защитное покрытие, является его высокая электрическая проводимость в случае наличия в нем арматуры (железобетон). По отношению к внешним электромагнитным полям, создаваемым над поверхностью защитного слоя, арматура играет экранирующую роль. Одной из задач исследований является проверка возможности выявления полости в диэлектрике под проводящим слоем. Использование индуктивного датчика для этой цели является заведомо бесперспективным, поскольку влияние ближе расположенной арматуры сказывается не только в повышении электропроводности, но также и в существенном повышении относительной магнитной проницаемости, что в комплексе приводит к значительному изменению частоты автогенератора. Предпринята попытка изучить возможность использования для диагностики полостей под частично проводящим слоем емкостного датчика [5].

Для выполнения экспериментальных работ была изготовлена модель, конструкция которой представлена на рис. 2.



1 – ящик из диэлектрика, 2 – песок, 3 – плита, имитирующая защитный слой, 4 – моделируемая полость, 5 – обкладка конденсатора емкостного датчика, 6 – электронная схема емкостного датчика, 7 – кабель к цифровому частотомеру

Рис. 2 – Конструкция физической модели

Размеры модели составили 80 x 30 x 15 см. В качестве геосреды использовался воздушно-сухой промытый и просеянный речной песок, что обеспечило однородность среды по ее электромагнитным характеристикам. Толщина защитной плиты равна 40 мм. Она выполнялась в двух вариантах. В контрольном варианте плита выполнена из диэлектрика (оргстекло), который к тому же имеет относительную магнитную проницаемость, близкую к единице. В экспериментальном варианте плита железобетонная. Армирующая сетка расположена в один слой. Размер ячеек армировки – 40 x 40 мм. Развернутый конденсатор емкостного датчика имеет в плане ширину, в 4 раза превышающую толщину защитного слоя. Автогенератор выполнен на транзисторах. Информативным параметром является собственная частота колебаний. С целью уменьшения влияния на работу автогенератора окружающей обстановки генератор выполнен с автономным питанием, а соединение с внешним цифровым частотомером осуществляется через высокочастотный трансформатор.

Внешний вид модели представлен на рис. 3.

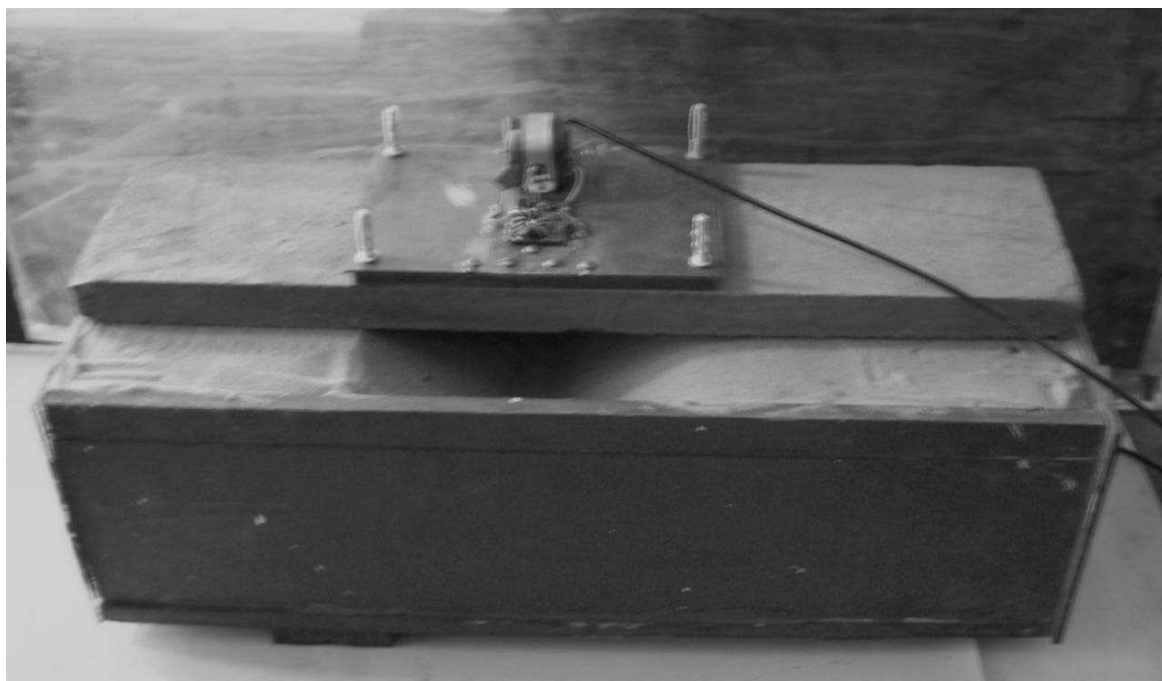
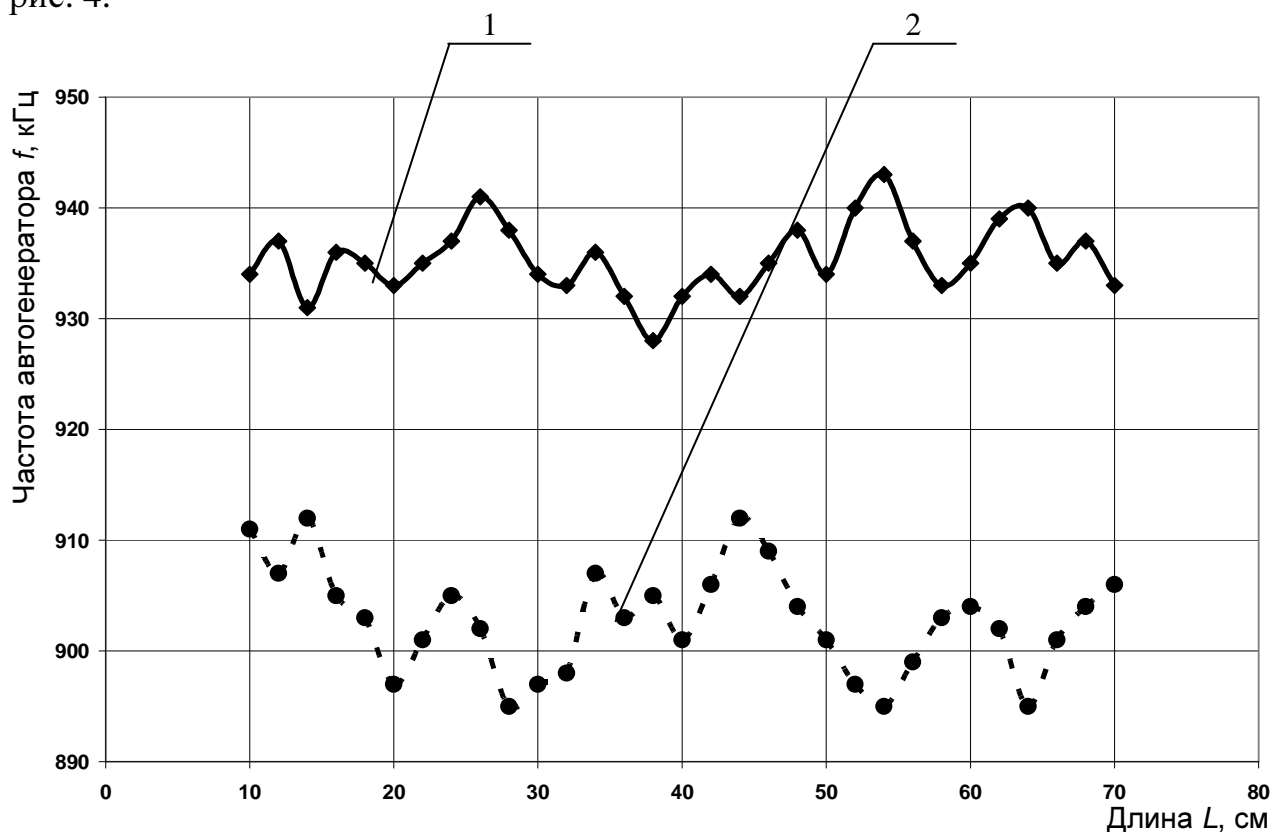


Рис. 3 – Внешний вид модели

Измерение частоты автогенератора производилось при перемещении емкостного датчика вдоль плиты с шагом 2 см. Точность отсчета информативного параметра – 1 кГц. Желательным изменяемым параметром модели была бы глубина полости, но в песке ее невозможно увеличить без одновременного возрастания ширины. Поэтому для каждого из вариантов плиты варьировалось поперечное сечение полости.

С целью оценки степени вариации информативного параметра при отсутствии возмущающего фактора для обоих случаев были получены зависимости частоты автогенератора от положения датчика при плотном контакте песка с

основанием плиты по всей площади. Результаты представлены графически на рис. 4.



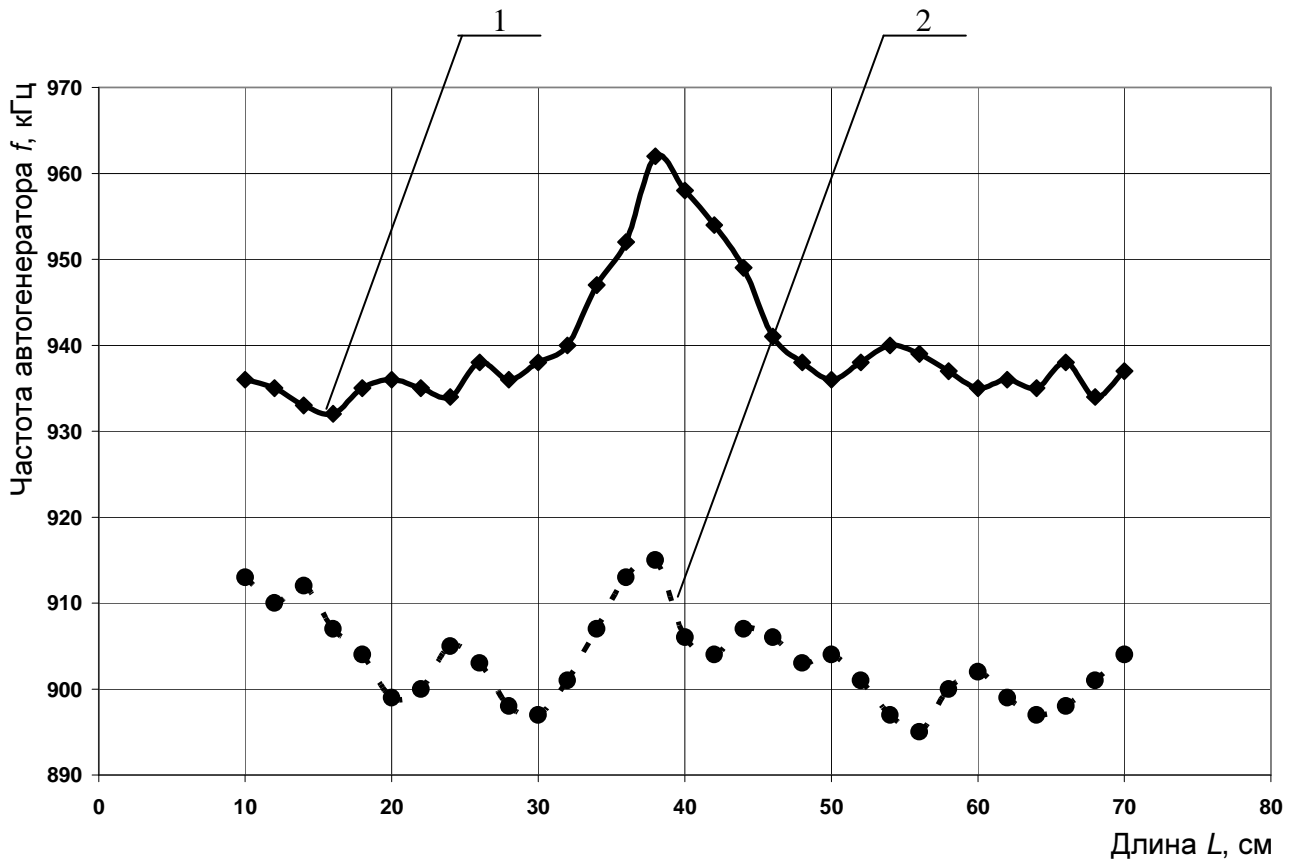
1 – для контрольной плиты, 2 – для экспериментальной плиты

Рис. 4 – Вариация информативного параметра при плотном контакте плиты с песком

Статистическая обработка полученных данных дала среднее значение информативного параметра для контрольной плиты 935,4 кГц при среднем стандартном отклонении 3,2 кГц. Для экспериментальной железобетонной плиты среднее составляет 902,8 кГц, а среднее стандартное отклонение 4,8 кГц.

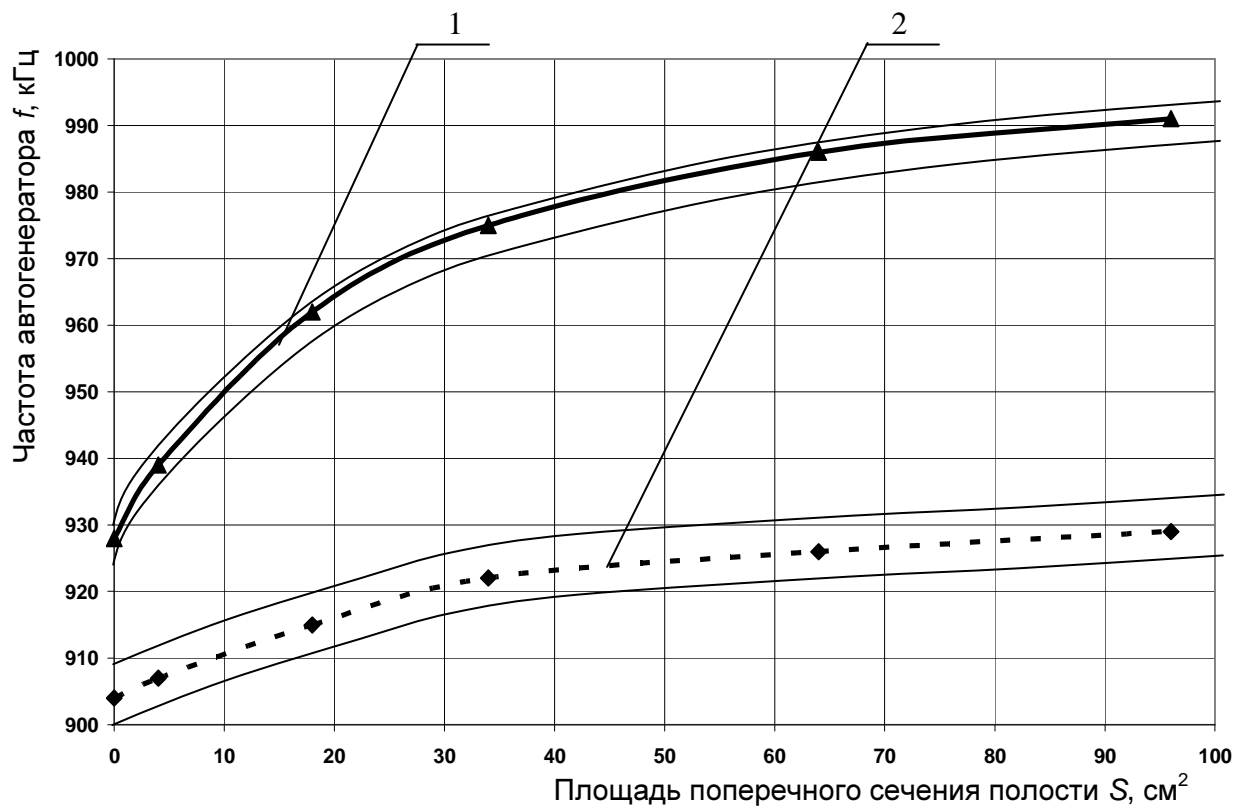
При практическом выполнении тампонажа крупными считаются полости, глубина которых равна и больше толщины защитного покрытия. При создании в центральной части модели полости под плитой с глубиной 4 и шириной 9 см получены результаты изменения частоты автогенератора при его перемещении вдоль плиты, которые представлены на рис. 5.

Полученные результаты свидетельствуют о значительном снижении чувствительности емкостного датчика к полостям под защитным покрытием в случае наличия в нем арматуры. Для более детального изучения эффективности работы емкостного датчика в различных условиях варьировались размеры полости под плитой при фиксированном положении датчика над центральной частью полости. В качестве независимого изменяющегося параметра в данном эксперименте принято поперечное сечение полости, которое возрастает примерно пропорционально квадрату ее глубины. Полученные в данном опыте результаты иллюстрируются рис. 6. Для полученных зависимостей частоты от поперечного сечения полости показаны также границы погрешностей.



1 – для контрольной плиты, 2 – для экспериментальной плиты

Рис. 5 – Вариация информативного параметра при наличии полости под плитой



1 – для контрольной плиты, 2 – для экспериментальной плиты

Рис. 6 – Вариация информативного параметра при изменении сечения полости

Полученные результаты подтверждают существенное экранирующее влияние плиты с арматурой, препятствующее эффективной работе емкостного датчика. Установлено также быстрое снижение чувствительности емкостного датчика с увеличением расстояния до аномалии, определяющее верхнюю границу определения глубины полости. С учетом погрешностей определения информативного параметра использование емкостного датчика может быть рекомендовано для обнаружения полостей за бетонной оболочкой, не содержащей арматуры, а также под слоем набрызгбетона. Использование датчика данного типа для выявления полостей под армированными оболочками связано с существенными погрешностями при оценке размеров полости. Полученные результаты не позволяют пока говорить об эффективном применении емкостного датчика как надежного средства для оценки размеров полостей в геосреде, экранированной арматурным каркасом, но он может быть использован как дополнительный к существующим методам (виброакустический, контрольное бурение) для повышения достоверности диагностики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усаченко Б.М., Яланский А.А., Паламарчук Т.А., Сергиенко В.Н. Научные и приборные разработки для геофизической экспресс-диагностики состояния шахт, карьеров и гидротехнических сооружений / Б.М. Усаченко, А.А. Яланский, Т.А. Паламарчук, В.Н. Сергиенко // Горный вестник Узбекистана. - 1998. - № 2. – С. 84 – 86.
2. Методическое пособие по комплексной геофизической диагностике породного массива и подземных геотехнических систем [Текст]. - Днепропетровск: ИГТМ НАНУ им. Н.С. Полякова, 2004. – 75 с.
3. Арш Э.И. Высокочастотный автогенераторный контроль в горном деле / Э.И. Арш. – М.: Недра, 1971. – 160 с.
4. Арш Э.И. Автогенераторные методы и средства измерений / Э.И. Арш. – М.: Машиностроение. – 1979. - 256 с.
5. Современные датчики. Справочник. – М.: Техносфера, 2005. - 592 с.