

УДК 550.839

**А.П. Аверин, Г.Ю. Гладун, А.З. Варганов**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
СТРОЕНИЯ И СОСТОЯНИЯ ИЗВЕСТНЯКОВ  
УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ МЕТОДАМИ В ПРОЦЕССЕ  
ИХ ЦЕМЕНТАЦИИ \***

*Проведены опытно методические работы по оценке качества укрепительной цементации оснований фундаментных свай, доказана эффективность метода ультразвукового каротажа.*

*Ключевые слова: ультразвуковой каротаж, скважины, цементация, динамические характеристики.*

**Семинар № 3**

**A.P. Averin, G.Y. Gladun,  
A.Z. Vartanov  
ULTRASOUND TECHNOLOGIES IN  
EXPERIMENTAL STUDIES ON  
COMPOSITION AND GENERAL STATE  
OF CHALKSTONES DURING THEIR  
CARBONISATION**

*Experimental and methodological works on estimation the quality of strengthening carbonization of the foundation pile bases are given; the effectiveness of ultrasound method of down-hole measurement is proved.*

*Key words: ultrasound down-hole measurement, carbonization, dynamic properties.*

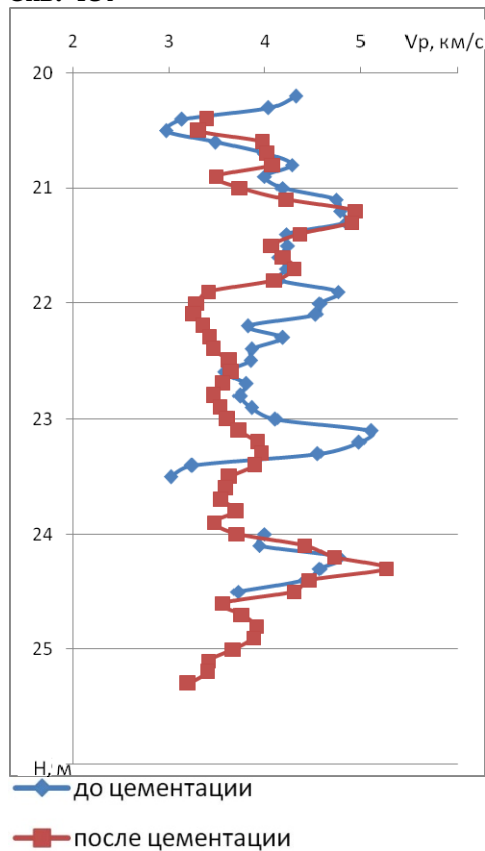
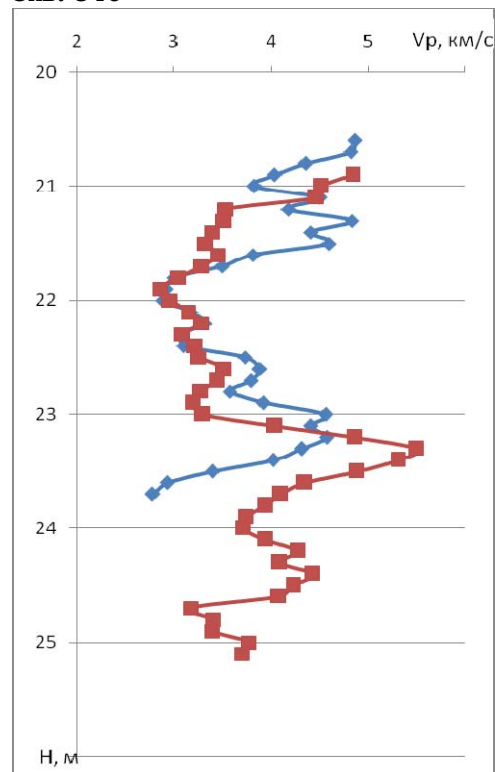
\*Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 07-05-00718-а, грант № 08-05-90437-Укр\_а) и гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых № МК-5235.2008.5

**С**троительство высотных сооружений приводит к увеличению нагрузок на основание, устройство многоуровневых подземных комплексов и автомобильных стоянок требуют увеличения глубины заложения фундамента, что в условиях сложившейся застройки мегаполисов

приводит к поиску новых проектных решений по конструкциям фундаментов. Интенсивный процесс технологии строительства и возведения отдельных блоков или конструкций не позволяет провести исследования на всей площади застройки. В виду чего возникает необходимость в мобильных и оперативных инструментах изучения свойств массива горных пород и контроля работ по возведению фундаментных оснований.

На одном из участков строительства ММДЦ «Москва – Сити» были выполнены работы по отработке методики оценки качества укрепительной цементации массива горных пород геофизическими методами. Ввиду сжатых сроков выполнения работ по цементации, а также ряда технических сложностей применения сейсмических, георадиолокационных и электроразведочных методов на дне котлована, выбор был сделан в пользу ультразвукового и видео каротажа цементационных скважин.

Обследование скважин в основании фундаментных свай на участке выполнялось методами ультразвуково-

**Скв. 437****Скв. 540****Рис. 1. Каротажная диаграмма скоростей продольных волн для свай №437, 540**

го каротажа (УЗК) в два этапа до и после цементации. Всего обследована - 31 свая.

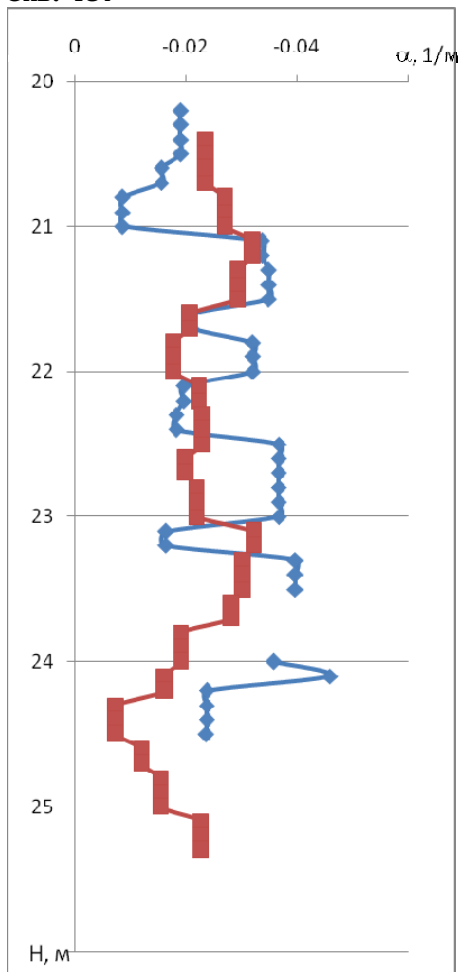
Эффективность видеокаротажа оказалась не высокой. Отстаивание скважин в течение суток не обеспечивало достаточной видимости из-за постоянного водопритока, в котором присутствовали мелко дисперсионные частицы, поэтому из всего объема отчетливая видеосъемка была проведена в двух скважинах до цементации.

Ультразвуковой каротаж выполнялся на глубинных 20-26 м с шагом 0,1 м. В результате стандартной обработки данных [1], полученных до цементации и после, значения скоростей продоль-

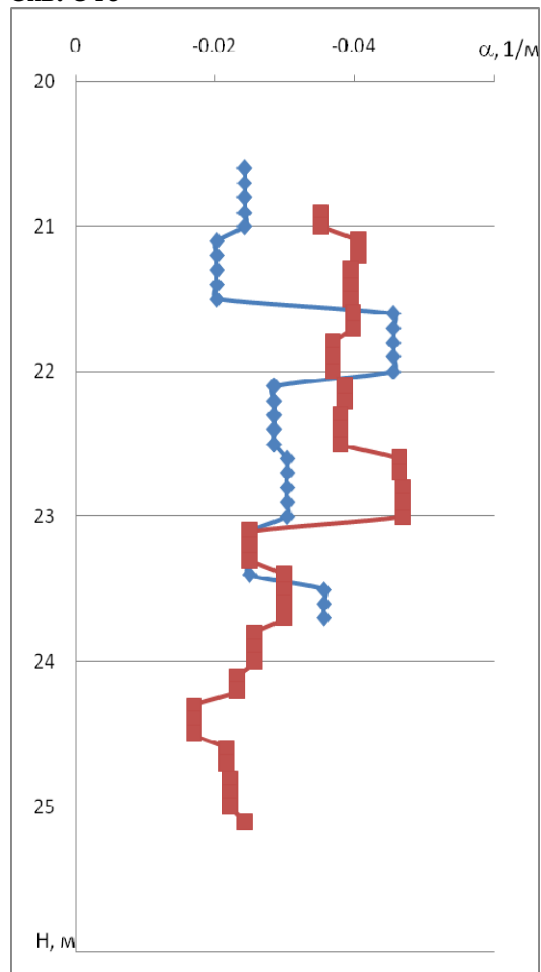
ных волн составили 2500-5500 м/с. Все скважины имеют сходный вид каротажных диаграмм. На рис. 1 приведена каротажная диаграмма скоростей упругих волн в скважине сваи №437 до и после цементации.

Участки со скоростями продольных волн более 4500 м/с можно условно отнести к относительно сохранным известнякам, однако мощность указанных участков составляет 0,3-0,4 м.

В результате обработки данных ультразвукового каротажа по оценке динамических характеристик значение эффективного коэффициента затухания во всех скважинах до цемен-

**Скв. 437**

—◆— до цементации  
 —■— после цементации

**Скв. 540**

**Рис. 2. Каротажная диаграмма эффективного коэффициента затуханий для свай №437, №540**

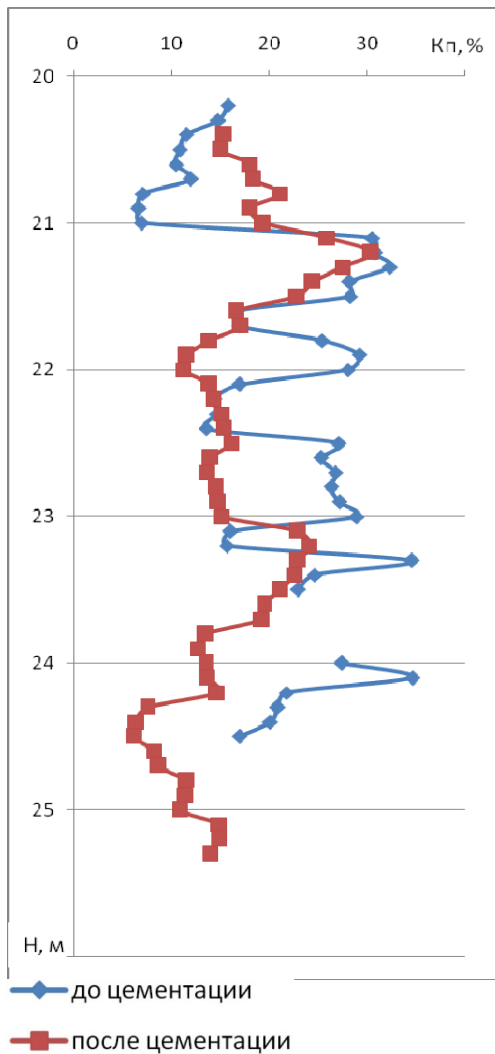
тации находилось в пределах от 0,01 до 0,05 м<sup>-1</sup> [2].

Полученные результаты второго цикла измерений, после цементации, показали отсутствие существенных изменений в массиве горных пород, т.к. значения эффективного коэффициента затухания остались в тех же пределах. Представленные на рис. 2 диаграммы изменения эффективного

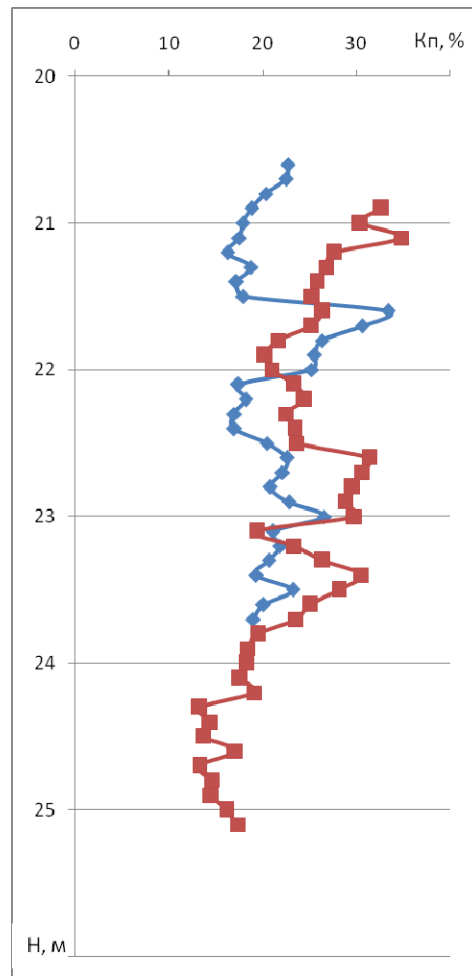
коэффициента затухания характеризуют интервальные значения, полученные для каждой стоянки ультразвукового зонда.

Используя результаты, полученные в работе [3], направленные на изучение механизмов затухания упругих волн при ультразвуковых наблюдениях в скважинах и возможности определения физико-механических свойств

Скв. 437



Скв. 540



**Рис. 3. Диаграмма изменения коэффициента трещинной пустотности для свай №437, №540**

горных пород на основе эффективного коэффициента затухания, были выполнены расчеты по оценке величины коэффициента трещинной пустотности до и после цементации.

Декремент затухания определяется из зависимости:

$$g = \frac{\alpha_{эф} V_s}{f}, \quad (1)$$

где  $f$  - видимая преобладающая частота S-волны в спектре сигнала.

Значение относительной плотности скелета породы определяется выражением:

$$\gamma = 1 + g^2 - \sqrt{(1 + g^2)^2 - 1} \quad (2)$$

Коэффициент трещинной пустотности вычисляется по формуле

$$K_{II} = \frac{\varphi}{1 + \varphi} 100\%, \quad (3)$$

$$\text{где } \varphi = \frac{\rho_1 \left( \frac{1}{\gamma} - 1 \right)}{\rho_2 p}. \quad (4)$$

$\rho_1, \rho_2$  – абсолютные плотности скелета и флюида, заполняющего поры и микротрещины;  $p$  – отношение объемов пор, заполненных флюидом к общему объему пор.

В нашем случае все необходимые величины получены из данных ультразвукового каротажа, плотность скелета известняков принята  $2,8 \text{ т/м}^3$ , плотность флюида – воды –  $1 \text{ т/м}^3$ . Учитывая, что участок цементации расположен в высоконапорных водоносных горизонтах отношение объемов пор заполненных флюидом к общему объему пор равен единице. После цементации данное утверждение сохраняется, т.к. давление нагнетания раствора достигало 100 атм.

Графики изменения рассчитанного коэффициента трещинной пустотности по скважинам 437 и 540 до и после цементации приведены на рис. 3

Значения коэффициента трещинной пустотности, полученное другими

исследователями на исследуемом участке строительства на этапе изысканий сейсмическими методами, варьировались в пределах 10-17%. Среднее значение рассчитанного нами коэффициента трещинной пустотности для скважины 437 до цементации составило 21%, а после – 16%. Средние значения для скважины 540 составили 21 и 23% соответственно.

#### **Выводы**

В результате проведенных опытно-методических работ по оценке качества укрепительной цементации доказана эффективность метода ультразвукового каротажа. Обработка данных по оценке эффективного коэффициента затухания позволяет проводить большие объемы измерений в сжатые сроки. Расчет дополнительных характеристик массива на основе динамических параметров упругих волн дает возможность повысить надежность проводимых измерений. Дальнейшее развитие данного подхода позволит перейти от количественной оценки динамических и кинематических параметров ультразвуковых колебаний к прогнозированию и расчету прочностных и реологических свойств горных пород.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Савич А.И., Коптев В.И., Никитин В.Н., Ященко З.Г. Сейсмоакустические методы изучения массивов скальных пород. М: Недра, 1969.

2. Аверин А.П. Исследование параметров затухания при ультразвуковых на-

блюдениях. Горно-информационный бюллетень, №10, изд-во МГГУ, 2004.

3. Захаров В.Н., Аверин А.П. Механизмы затухания волновых процессов при ультразвуковых наблюдениях. Горно-информационный бюллетень, №7, изд-во МГГУ, 2005. **ИДБ**

#### **Коротко об авторах**

**Вартанов А.З.** - Председатель Совета Директоров ЗАО «Управляющая Компания «Межрегиональный Союз Строителей», научный руководитель «Института высоких технологий освоения и эксплуатации подземного пространства», кандидат технических наук, доцент кафедры ФТКП, office@msshholding.ru

**Аверин А.П.** – кандидат технических наук, ст. научный сотрудник, ИПКОН РАН, info@ipkonran.ru

**Гладун Г.Ю.** – аспирант кафедры ФТКП, Московский государственный горный университет, Moscow state mining university, Russia, ud@msmu.ru

