

© <sup>1</sup>В.Н. Карпенко, <sup>1</sup>Ю.П. Стародуб,  
<sup>2</sup>О.В. Карпенко, 2009

УДК 531.6

<sup>1</sup> ДП "Науканафтогаз" НАК "Нафтогаз Украины", г. Киев

<sup>2</sup> Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины,  
г. Киев

## МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ГОДОГРАФА

**Предисловие.** Геофизические неразрушающие методы изучения упругих физико-механических свойств геологической среды (ГС) при проведении геологоразведочных работ на нефть и газ охватывают акустический, сейсмический, гравиметрический и плотностной виды каротажа.

Акустический каротаж в скважинах проводится достаточно часто. Особенность его состоит в необходимости установки излучателя и приёмника в скважине, что усложняет конструкцию прибора и требует дополнительного времени. На основании результатов, полученных с помощью этого вида каротажа, определяют акустические скоростные, упругие и некоторые петрофизические характеристики горных пород.

Сейсмический каротаж проводится во всех параметрических, некоторых поисковых и разведочных скважинах и служит единственным источником информации о скоростной модели ГС, но требует значительного времени и финансирования из-за установки датчиков и использования взрывчатых веществ.

Плотностной каротаж при строительстве глубоких скважин используется крайне редко из-за небезопасной работы прибора. Информацию о плотности горных пород обычно получают с помощью других методов в процессе бурения скважин, например, отбора шлама. Чтобы определение плотности пород было более оперативным, его проводят через определенные интервалы.

Гравиметрический каротаж [1] – это новый метод геофизического исследования ГС, он только начинает использоваться в ходе бурения глубоких скважин.

Каждый из указанных методов каротажа не исключает возможности использования остальных. Эпизодические данные о плотности, скорости распространения Р-волны, пористости, модулях упругости и коэффициентах Пуассона горных пород делает промышленную геофизику многокомпонентной дисциплиной, направленной на целостное изучение локальных

геофизических параметров ГС. При этом имеющиеся интегральные геофизические параметры ГС недостаточно информативны, что затрудняет исследование ГС с помощью интегральных методов, например, сейсмического профилирования.

В данной работе представлены результаты исследования физической связи интегральных геофизических параметров ГС, определяемых с помощью метода сейсмического профилирования, с локальными геофизическими параметрами, определяемыми по результатам проведения сейсмического и акустического каротажа. Физические закономерности между результатами, полученными с использованием данных методов, на сегодня не исследованы.

На основании физического представления о единичном импульсе, возмущающем ГС и распространяющемся вглубь по криволинейной траектории, как о сигнале, энергия которого представлена с помощью спектрально-временного анализа (сван) записи колебаний, авторы исследуют физическую связь данных временного –  $G_t$  и скоростного –  $G_v$  годографов. Эта связь позволяет производить оценку коэффициента Пуассона макроэлементов ГС.

Основная физическая особенность ГС – анизотропия энергии статического состояния, обусловленная гравитационными силами. При проведении сейсмического профилирования взрыв в среде вызывает анизотропию энергии локального масштаба, заключенной в определенном объеме. Возникает динамическая локальная энергетическая анизотропия состояния ГС. Энергия взрыва, поглощенная ГС, изменяет ее статическое энергетическое состояние, что может быть представлено в виде энергоинформационной модели динамического уравнения годографа (модели ДУГ) скорости  $P$ -волны в виде

$$E_d = E_s, \quad (1)$$

где  $E_d = m \cdot \ddot{S} \cdot S$  – энергия динамических сил на пути  $S$ , приложенных в среде массы  $m$  и сообщивших ей ускорение  $\ddot{S}$ ;  $E_s = 0,5 \cdot \rho \cdot (g + 2\lambda) \cdot S^2 \cdot S_0$  – энергия статических сил, принявших энергию динамического состояния, определяемую плотностью среды  $\rho$  с ускорением возмущения  $(g + 2\lambda)$ ,  $\lambda$  – ускорение фронта  $P$ -волны, обусловленное внутренними колебаниями микроэлементов среды,  $g$  – ускорение силы тяжести. Среда имеет единичную поверхность  $S_0$ , объем –  $S \cdot S_0$ ; на пути  $S$ :  $S = t \cdot V_p = t \cdot \dot{S}$ , где  $V_p$  – средняя скорость  $P$ -волны.

**Модель динамического уравнения годографа.** Модель ДУГ (1) для аналитического исследования представляется в дифференциальном виде

$$S(t) \cdot \ddot{S}(t) - \gamma \cdot t \cdot \dot{S}(t) = 0, \quad (2)$$

где  $\gamma = 0,5g + \lambda$  – общее ускорение распространения возмущения в ГС.

Для решения уравнения (2) воспользуемся подстановкой  $S(t) = t^2 \cdot \eta(\varepsilon)$ ,  $\varepsilon = \ln(t)$ .

Уравнение (2) можно представить в виде [2]:

$$\eta \ddot{\eta} + \dot{\eta}(3\eta - \gamma) + 2\eta(\eta - \gamma) = 0, \quad (3)$$

или, используя подстановку  $\dot{\eta} = P(\eta)$ , в виде

$$P(\eta) \dot{P}(\eta) = P(\eta) \cdot f_1(\eta) + f_0(\eta), \quad (4)$$

где  $f_1(\eta) = -\left(3 - \frac{\gamma}{\eta}\right)$ ,  $f_0(\eta) = -2(\eta - \gamma)$ .

Последующая подстановка  $P(\eta) = U(\eta) + F(\eta)$ , где  $F(\eta) = \int f_1(\eta) d\eta$ , в уравнение (4), приводит его к уравнению (5):

$$[U(\eta) + F(\eta)] \cdot \dot{U}(\eta) = f_0(\eta), \quad (5)$$

которое, после замены  $U(\eta) = \varphi(\xi)$ , где  $\xi = \int f_0(\eta) d\eta$ , преобразуется в уравнение (6):

$$[\varphi(\xi) + F(\eta)] \cdot \dot{\varphi}(\xi) = 1 \quad (6)$$

или

$$\int [\varphi(\xi) + F(\eta)] \cdot d\varphi(\xi) = \int d\xi + C_1, \quad (6.1)$$

из которого определяем функцию  $\varphi(\xi)$  в виде

$$\varphi(\xi) = -F(\eta) \pm \sqrt{F^2(\eta) + 2\xi + C_1}. \quad (7)$$

Подставляя (7) в определение  $P(\eta) = U(\eta) + F(\eta)$ , с учётом  $U(\eta) = \varphi(\xi)$ , получим

$$P(\eta) = \pm \sqrt{F^2(\eta) + 2 \int f_0(\eta) d\eta + C_1} = \pm \sqrt{\left[ \int f_1(\eta) d\eta \right]^2 + 2 \int f_0(\eta) d\eta + C_1} \quad (8)$$

или

$$\frac{d\eta}{d\varepsilon} = \pm \sqrt{\left[ \int f_1(\eta) d\eta \right]^2 + 2 \int f_0(\eta) d\eta + C_1}. \quad (9)$$

Искомое решение уравнения (2) имеет вид

$$S(t) = t^2 \cdot \eta(\varepsilon), \quad (10)$$

где функция  $\eta(\varepsilon)$  определяется из уравнения (10.1):

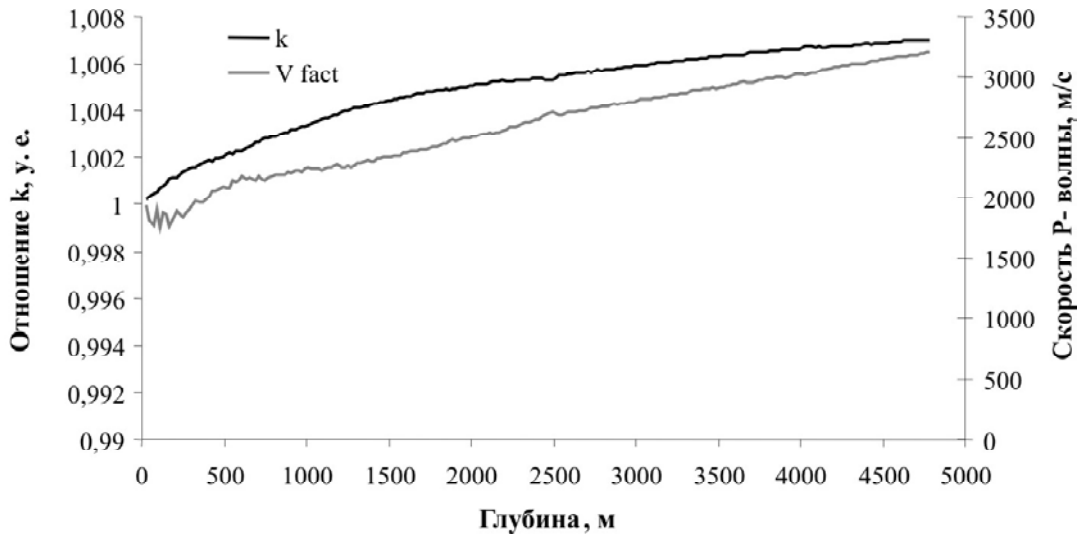


Рис. 1. Оценка погрешности при упрощении уравнения (9) для  $C_1 = 0$  скорость  $P$ -волны приведена для сравнения

$$\int \frac{d\eta}{\sqrt{\left[\int f_1(\eta) d\eta\right]^2 + 2\int f_0(\eta) d\eta + C_1}} = \pm \int d\varepsilon + C_2 = \pm \ln t + C_2, \quad (10.1)$$

в котором

$$\int f_1(\eta) d\eta = -\int \left(3 - \frac{\gamma}{\eta}\right) d\eta = \gamma \ln \eta - 3\eta;$$

$$2\int f_0(\eta) d\eta = -\int 2(\eta - \gamma) d\eta = 2\gamma\eta - \eta^2.$$

Поскольку  $\gamma \ln \eta \ll 3\eta$  и  $2\gamma\eta \ll \eta^2$ , что доказывают экспериментальные данные, с использованием соотношения вида

$$k = \frac{\pm \sqrt{\left[\int f_1(\eta) d\eta\right]^2 + 2\int f_0(\eta) d\eta + C_1}}{\pm \sqrt{\left[\int f_1(\eta) d\eta\right]^2 + 2\int f_0(\eta) d\eta + C_1}} = \frac{\sqrt{[-3\eta]^2 - \eta^2 + C_1}}{\sqrt{[\gamma \ln \eta - 3\eta]^2 + 2\gamma\eta - \eta^2 + C_1}},$$

представленного на рис. 1, то интеграл (10.1) можно представить в виде

$$\int \frac{d\eta}{\sqrt{7\eta^2 + C_1}} = \frac{1}{\sqrt{7}} \cdot \ln\left(\eta + \sqrt{\eta^2 + C_1}\right) = \pm \varepsilon + C_2. \quad (10.2)$$

Отсюда легко находится функция  $\eta(\varepsilon)$ :

$$\eta(\varepsilon) = \frac{1}{2} \left[ e^{\pm \varepsilon \sqrt{7} + C_2} - C_1 \cdot e^{-(\pm \varepsilon \sqrt{7} + C_2)} \right]$$

ИЛИ

$$\eta(t) = \frac{1}{2} \cdot \left[ C_2 \cdot t^{\pm \sqrt{7}} - C_1 / C_2 \cdot t^{\mp \sqrt{7}} \right]. \quad (10.3)$$

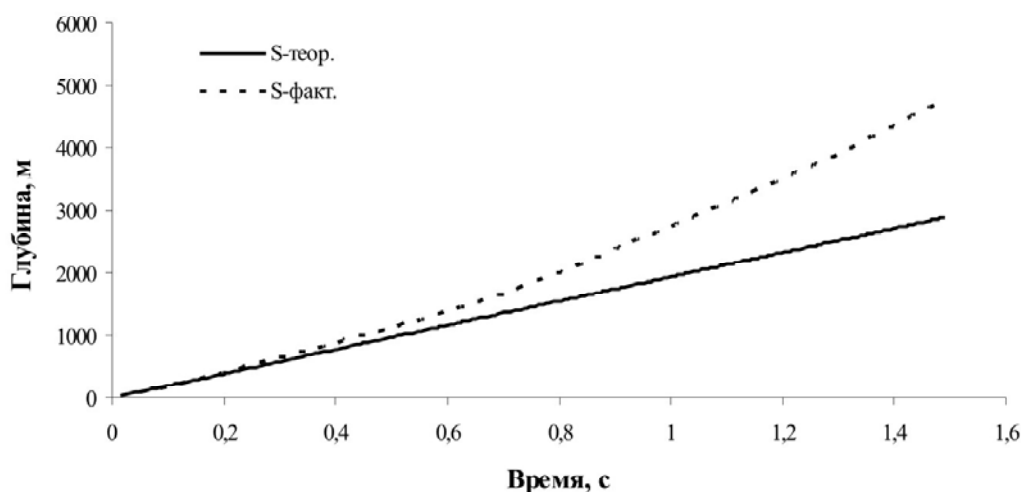


Рис. 2. Оценка погрешности решения (11) –  $S_{\text{теор}}$  для констант  $C_1$  и  $C_2$  во всем интервале времени с экспериментальными данными  $S_{\text{факт}}$  сейсмического каротажа в скв. № 24 Абазовской площади

Тогда уравнение (10) будет иметь вид

$$S(t) = t^2 \cdot \eta(t) = \frac{1}{2} \cdot \left[ C_2 \cdot t^{\pm\sqrt{7}+2} - C_1 / C_2 \cdot t^{\mp\sqrt{7}+2} \right]. \quad (11)$$

Для начальных условий  $S(t_0) = 0$ ,  $\dot{S}(t_0) = V_0$  и  $a = \pm\sqrt{7}$  составляем систему уравнений (11.1), из которой определяем константы  $C_1$ ,  $C_2$ :

$$\begin{cases} \frac{1}{2} \cdot \left[ C_2 \cdot t_0^{a+2} - C_1 / C_2 \cdot t_0^{-a+2} \right] = S_0 \\ \frac{1}{2} \cdot \left[ C_2 (a+2) \cdot t_0^{a+1} - C_1 / C_2 \cdot (-a+2) \cdot t_0^{-a+1} \right] = V_0 \end{cases} \quad (11.1)$$

$$C_1 = -\frac{V_0^2}{t_0^2} \cdot \frac{(a^2 - 1)}{a^2}, \quad C_2 = \frac{V_0}{t_0} \cdot t_0^{-a} \cdot \frac{(a+1)}{a}. \quad (11.2)$$

На рис. 2 приведены кинематические характеристики  $G_t$  распространения  $P$ -волны в ГС: экспериментальные и в соответствии с уравнением (11).

Неточность решения (11) всецело обусловлена постоянством начальных данных. Так, если в качестве констант данных принимать каждую последующую точку данных  $S_i$  и  $t_i$ , то имеет место точное решение, представленное на рис. 3.

Другими словами, исключение параметра  $\gamma$  из решения (11) привело: к качественно новой (линейной) характеристике  $G_t$  и к необходимости знания данных  $S_i$  или  $\dot{S}_i = V_p$ , кроме  $t_i$ .

Данное обстоятельство свидетельствует о необходимости, но недостаточности решения (11).

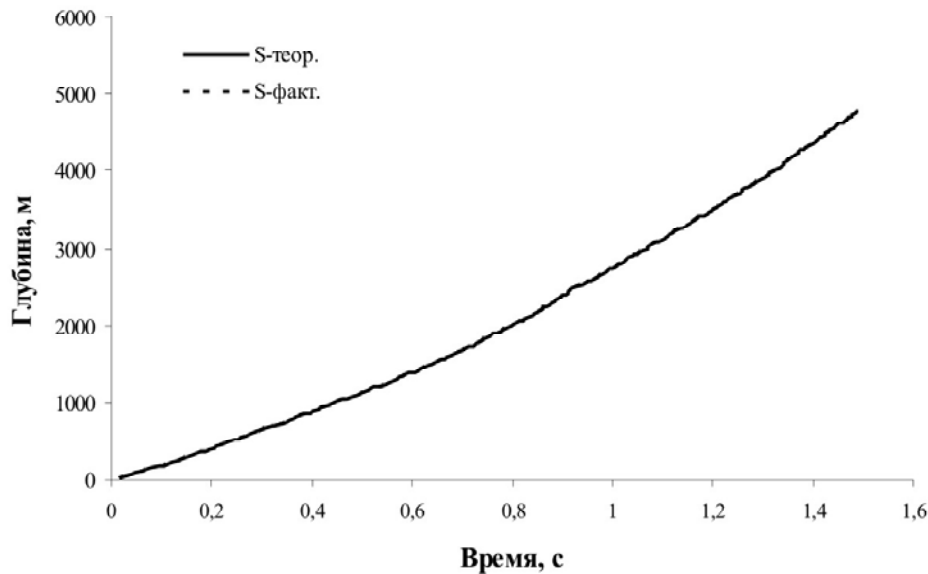


Рис. 3. Оценка погрешности решения (11) –  $S_{\text{теор}}$  для констант  $C_1$  и  $C_2$ , заданных в точке по экспериментальным данным  $S_{\text{факт}}$  сейсмического каротажа в скв. № 24 Абазовской площади (негладкая характеристика (11)).

Учесть параметр  $\gamma$  можно решением уравнения (12) с учётом (10.4):

$$\frac{S(t)}{t^2} = \eta(t) = \gamma \cdot \frac{\dot{S}(t)}{t \cdot \ddot{S}(t)}, \quad (12)$$

полученного умножением уравнения (2) на  $t$ .

Подстановка вида  $\dot{S}(t) = U(t)$  в уравнение (12) позволяет получить решение для скорости  $P$ -волны –  $\dot{S}(t) = V_p(t)$  в виде

$$\dot{S}(t) = V_{0p} \cdot e^{\psi(t)}, \quad (12.1)$$

где

$$\psi(t) = \gamma \cdot \int \frac{1}{t \cdot \eta(t)} dt = 2\gamma \cdot \int \frac{t^{a-1}}{\left(C_2 t^{2a} - \frac{C_1}{C_2}\right)} dt = \frac{2\gamma}{3a} \cdot \left[ \frac{t^a}{\left(C_2 t^{2a} - \frac{C_1}{C_2}\right)} + 2a \frac{C_1}{C_2} \cdot \int \frac{t^{a-1}}{\left(C_2 t^{2a} - \frac{C_1}{C_2}\right)^2} dt \right],$$

$$\int \frac{t^{a-1}}{\left(C_2 t^{2a} - \frac{C_1}{C_2}\right)^2} dt = \frac{1}{5a} \cdot \left[ \frac{t^a}{\left(C_2 t^{2a} - \frac{C_1}{C_2}\right)^2} + 4a \frac{C_1}{C_2} \int \frac{t^{a-1}}{\left(C_2 t^{2a} - \frac{C_1}{C_2}\right)^3} dt \right]$$

и т. д.

Для пространства решение (11) преобразуется к такому виду:

$$S(t) = \dot{S}(t) \cdot t = V_{0p} \cdot t \cdot e^{\psi(t)}. \quad (12.2)$$

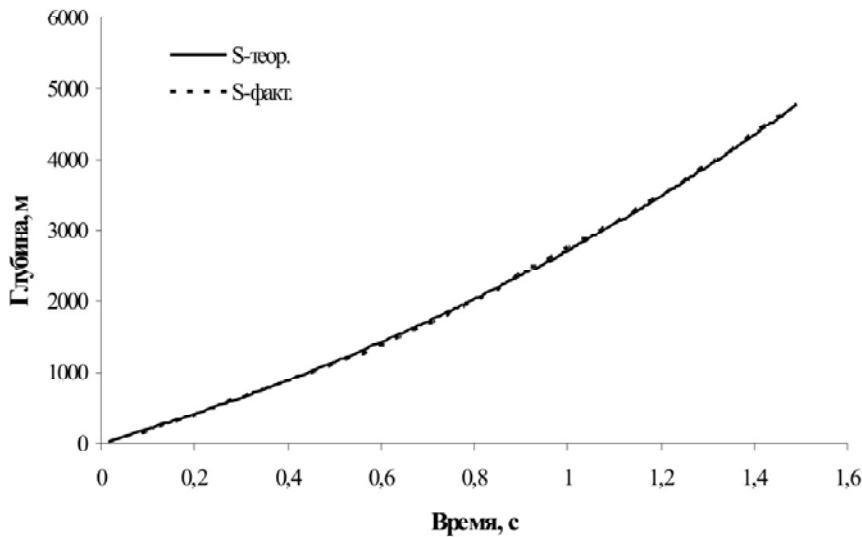


Рис. 4. Оценка погрешности решения (12.2) –  $S_{\text{теор}}$  для констант  $C_1$ ,  $C_2$  и  $\gamma$  во всем интервале времени в сравнении с экспериментальными данными  $S_{\text{факт}}$  сейсмического каротажа в скв. № 24 Абазовской площади (гладкая характеристика (12.2))

В строгом математическом виде

$$S(t) = V_{0p} \cdot \int e^{\psi(t)} dt . \quad (13)$$

На рис. 4 представлены кинематические характеристики  $G_r$ , полученные экспериментальным путем и в соответствии с уравнением (12.2). Решение (12.2) является необходимым и достаточным для модели ДУГ, основной особенностью которой служит проявление внутренней энергоинформационной связи (1) в виде пространственно-временного кинематического соотношения (12.2). В этой формуле независимая переменная – время. Путь волны зависит от начальных условий, определяющих общую закономерность распространения  $P$ -волны в упругом полупространстве с энергетической анизотропией, обусловленной увеличением геостатической энергии с глубиной.

Уравнение (12.1) служит моделью кинематического уравнения годографа  $G_v$ , а уравнение (12.2) – моделью связи годографов  $G_t$  и  $G_v$ .

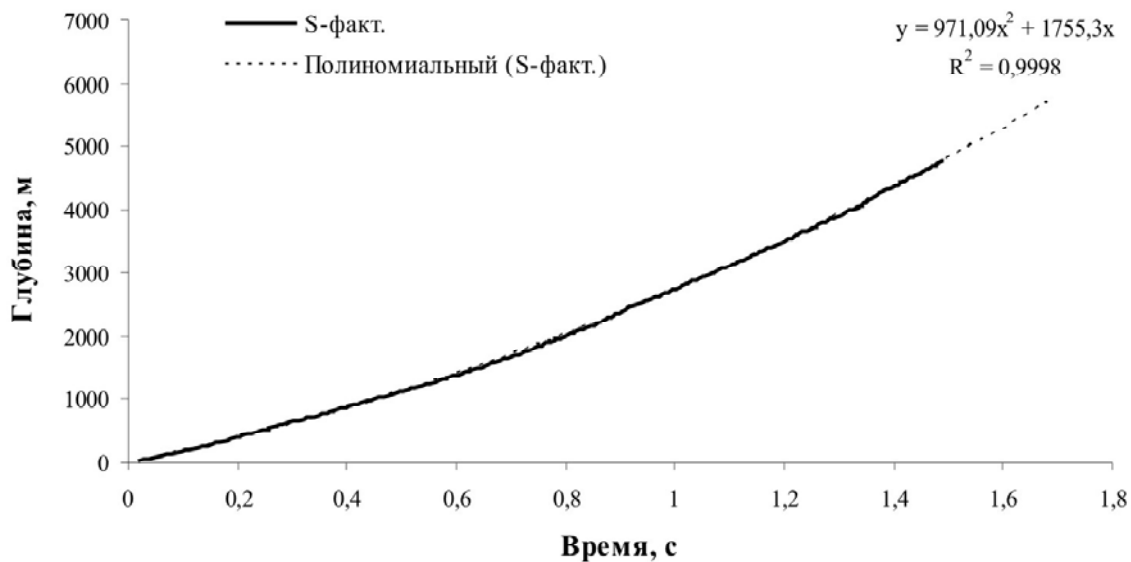
**Концепция физической связи  $G_t$  и  $G_v$ .** Для инженерной практики, учитывая, что может быть принято соотношение  $S(t) = \dot{S}(t) \cdot t$ , уравнение (2) можно рассматривать в виде

$$\ddot{S}(t) - \gamma = 0 , \quad (14)$$

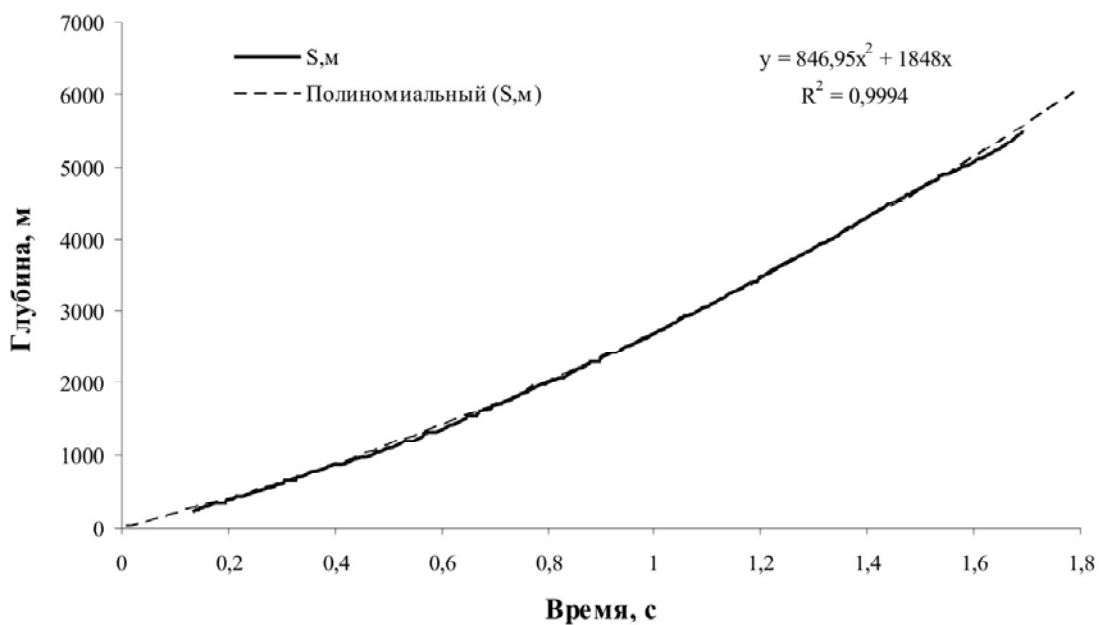
которое для начальных условий ( $S(0) = 0$ ,  $\dot{S}(0) = V_{0p}$ ) имеет такое решение:

$$S(t) = 0,5\gamma \cdot t^2 + V_{0p} \cdot t . \quad (14.1)$$

На рис. 5 показана точность решения (14.1), которое позволяет оценить не только величину параметра  $\gamma$ , но и отклонения его значений от среднего. Последнее обстоятельство – основополагающее в определении информации о физических свойствах элементов ГС.



*a*



*б*

Рис. 5. Оценка погрешности решения (14.1) –  $S_{\text{теор}}$  для констант  $V_{0P}$  и  $\gamma$  во всем интервале времени с экспериментальными данными  $S_{\text{факт}}$  сейсмического каротажа: *a* – в скв. № 24 Абазовской площади (гладкая характеристика (14.1)); *б* – в скв. № 2 Мачухской площади



Уравнение (14.1) – это упрощённая модель динамического уравнения связи годографов  $G_t$  и  $G_v$ . Его использование для оценки коэффициента Пуассона осуществляется совместно с информационной моделью геологической среды (ИМ-ГС) [3]. Рассмотрим последнее обстоятельство на следующем примере.

**Пример.**

*Дано:* таблица, где  $S_i$  – фиксированная глубина установки сейсмоприёмника в скважине;  $t_i$  – одинарное время движения  $P$ -волны от источника на поверхности Земли до сейсмоприёмника в скважине.

Сейсмокаротажные данные (скв. № 24 Абазовской площади)

S, м	t, с	S, м	t, с	S, м	t, с	S, м	t, с	S, м	t, с	S, м	t, с
31	0,016	831	0,379	1631	0,685	2431	0,91	3230	1,129	4030	1,33
51	0,028	851	0,389	1651	0,692	2451	0,911	3250	1,137	4050	1,34
71	0,04	871	0,398	1671	0,702	2471	0,915	3270	1,141	4070	1,34
91	0,048	891	0,401	1691	0,706	2491	0,918	3290	1,145	4090	1,34
111	0,063	911	0,413	1711	0,713	2511	0,929	3310	1,15	4110	1,35
131	0,07	931	0,418	1731	0,722	2531	0,94	3330	1,16	4130	1,348
151	0,081	951	0,426	1751	0,726	2551	0,947	3350	1,16	4150	1,353
171	0,097	971	0,437	1771	0,73	2571	0,951	3370	1,17	4190	1,361
191	0,105	991	0,443	1791	0,738	2591	0,957	3390	1,17	4210	1,365
211	0,112	1011	0,45	1811	0,743	2611	0,963	3410	1,17	4229	1,37
231	0,124	1031	0,459	1831	0,748	2631	0,97	3430	1,18	4249	1,373
251	0,136	1051	0,469	1851	0,755	2651	0,975	3450	1,19	4269	1,375
271	0,144	1071	0,477	1871	0,758	2671	0,98	3470	1,19	4289	1,382
291	0,153	1091	0,489	1891	0,763	2691	0,987	3490	1,2	4309	1,386
311	0,161	1111	0,497	1911	0,772	2711	0,991	3510	1,2	4329	1,392
331	0,168	1131	0,502	1931	0,779	2730	0,994	3530	1,21	4349	1,398
351	0,179	1151	0,512	1951	0,782	2750	1,002	3550	1,21	4369	1,403
371	0,189	1171	0,518	1971	0,79	2770	1,008	3570	1,22	4389	1,409
391	0,197	1191	0,524	1991	0,797	2790	1,011	3590	1,22	4409	1,41
411	0,205	1211	0,538	2011	0,803	2810	1,019	3610	1,23	4429	1,413
431	0,209	1231	0,546	2031	0,809	2830	1,024	3630	1,23	4449	1,417
451	0,219	1251	0,553	2051	0,815	2850	1,027	3650	1,23	4469	1,423
471	0,227	1271	0,563	2071	0,82	2870	1,031	3670	1,24	4489	1,425
491	0,235	1291	0,57	2091	0,825	2890	1,041	3690	1,25	4509	1,43
511	0,245	1311	0,574	2111	0,832	2910	1,044	3710	1,25	4529	1,435
531	0,255	1331	0,582	2131	0,841	2930	1,05	3730	1,26	4549	1,44
551	0,257	1351	0,587	2151	0,845	2950	1,055	3750	1,26	4588	1,448
571	0,268	1371	0,594	2171	0,852	2970	1,061	3770	1,26	4608	1,452
591	0,276	1391	0,605	2191	0,858	2990	1,069	3790	1,27	4628	1,46
611	0,28	1411	0,612	2211	0,86	3010	1,071	3810	1,28	4648	1,463
631	0,292	1431	0,617	2231	0,862	3030	1,074	3830	1,28	4668	1,468
651	0,301	1451	0,624	2251	0,868	3050	1,081	3850	1,28	4688	1,472
671	0,312	1471	0,628	2271	0,875	3070	1,087	3870	1,29	4708	1,476
691	0,322	1491	0,639	2291	0,879	3090	1,093	3890	1,3	4728	1,479
711	0,326	1511	0,646	2311	0,884	3110	1,099	3910	1,31	4748	1,483
731	0,34	1531	0,652	2331	0,888	3130	1,106	3930	1,31	4768	1,488
751	0,35	1551	0,659	2351	0,893	3150	1,111	3950	1,31	4787	1,492
771	0,355	1571	0,667	2371	0,898	3170	1,114	3970	1,31	–	–
791	0,363	1591	0,67	2391	0,901	3190	1,119	3990	1,32	–	–
811	0,369	1611	0,68	2411	0,907	3210	1,122	4010	1,32	–	–

**Определяются:**

1. Среднее значение скорости:

$$\dot{S}_{fact} = V_p = \frac{S_i}{t_i} \quad \text{и} \quad \dot{S}_{teor}(t) = \frac{d(0,5\gamma \cdot t_i^2 + V_{0p} \cdot t_i)}{dt_i} = \gamma \cdot t_i + V_{0p}, \quad (\text{П. 1})$$

где  $\gamma = 0,5g + \lambda = 2 \cdot 971,09 \text{ м/с}^2$  – общее ускорение, зависящее от модуля Юнга, массы, размеров и плотности среды;  $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$  ускорение силы тяжести;  $\lambda$  – ускорение, вызванное изменением напряженного состояния элемента ГС;  $V_{0p} = 1755,3 \text{ м/с}$ .

2. Теоретическое время прихода  $P$ -волны:

$$t_{i-teor}(S) = \frac{S_i}{\dot{S}_{teor}(t)} = \frac{S_i}{\gamma \cdot t_i + V_{0p}}. \quad (\text{П. 2})$$

3. Временной коэффициент:

$$k = \frac{t_i}{t_{i-teor}}. \quad (\text{П. 3})$$

4. Кинематическое общее ускорение в точке ГС, обусловленное плотностью, модулем Юнга и гравитационным ускорением:

$$\gamma_{teor} = 2 \frac{(\dot{S}_{fact}(t) - V_{0p})}{t_{i-teor}}, \quad \gamma_{fact} = 2 \frac{(\dot{S}_{fact}(t) - V_{0p})}{t_i}. \quad (\text{П. 4})$$

5. Коэффициент ускорений:

$$\frac{g_{teor}(S) + \lambda_{teor}(S)}{g_{fact}(S) + \lambda_{fact}(S)} = \frac{\gamma_{teor}(S)}{\gamma_{fact}(S)} = \frac{t_i(S)}{t_{i-teor}(S)}, \quad (\text{П. 5})$$

используемый для прямой оценки параметра  $\gamma_{fact}$ :

$$\gamma_{fact}(S) = \lambda_{fact}(S) + g_{fact}(S) = \gamma_{teor}(S) \cdot \frac{t_{i-teor}(S)}{t_i(S)}. \quad (\text{П. 6})$$

На рис. 6 представлена характеристика изменения общего ускорения  $P$ -волны с увеличением глубины скважины, полученная по экспериментальным и теоретическим данным, представленным на рис. 5, а.

6. Динамическое общее ускорение:

$$\begin{aligned} \tilde{\gamma}_{teor} &= \omega_J \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot J}{\rho \cdot V_p}} = \omega_J \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,5\rho \cdot V_p^2 \cdot V_p}{\rho \cdot V_p}} = \omega_J \cdot V_{p-fact} = \omega_J \cdot \dot{S} = \\ &= \omega_J \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}} \cdot F(\sigma) = \omega_J^2 \cdot S \end{aligned} \quad (\text{П. 7})$$

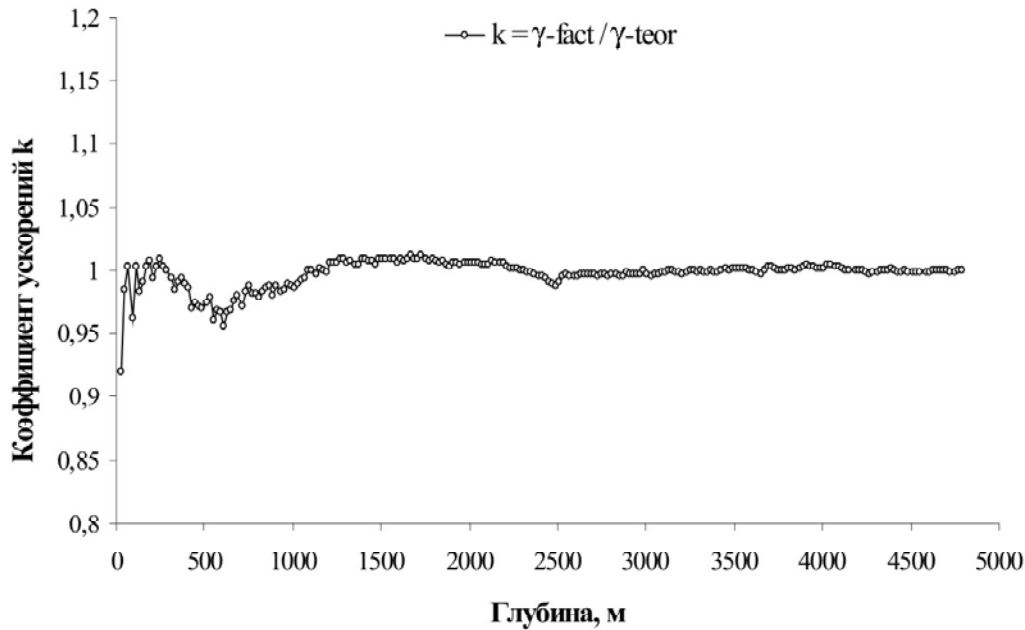


Рис. 6. Оценка общего ускорения  $P$ -волны по всей глубине скважины по данным сейсмического каротажа в скв. № 24 Абазовской площади,  $\gamma_{\text{теор}} = 0,5g + \lambda = 2971,09 \text{ м/с}^2$

где  $J$  – передача объёмной плотности энергии деформации средой, Дж/м<sup>3</sup>·м/с;  $\omega_j$  – граничная интегральная частота колебаний геологической среды со средней плотностью  $\rho$ , единичной площадью  $S_0$  и объёмом  $S_0 S$ ;  $E = E(S)$  – модуль Юнга, зависящий от собственной плотности механической энергии и гравитационного потенциала

$$[3], F(\sigma) = \frac{(1-\sigma)}{(1+\sigma) \cdot (1-2\sigma)} = \rho \cdot \frac{\omega_j^2 \cdot S^2}{E} \text{ – функция коэффициента Пуассона.}$$

7. Коэффициент Пуассона для системы физических точек с параметрами  $\omega_j$ ,  $\rho$ ,  $E$  и со структурой, отличной от шарообразной, определяется из уравнения (П. 7), аналогично [4],

$$F(\sigma) = F(\sigma_0) \cdot \left( \frac{\gamma_{\text{fact}}(S)}{\gamma_{\text{теор}}(S)} \right)^2 = F(\sigma_0) \cdot \left( \frac{t_{i\text{-теор}}(S)}{t_i(S)} \right)^2, \quad (\text{П. 7})$$

где  $F(\sigma_0) = \frac{(1-\sigma_0)}{(1+\sigma_0) \cdot (1-2\sigma_0)} = \frac{2}{\sqrt{3}}$  – безразмерная функция для системы физических точек, образующих шарообразную внутреннюю структуру среды в виде

$$\sigma^2 + \sigma \cdot 0,5 \cdot \left( 1 - \frac{1}{A} \right) - 0,5 \cdot \left( 1 - \frac{1}{A} \right) = 0, \quad (\text{П.7.1})$$

где

$$\sigma = -0,25 \cdot \left[ \left( 1 - \frac{1}{A} \right) \pm \sqrt{\left( 1 - \frac{1}{A} \right)^2 + 8 \cdot \left( 1 - \frac{1}{A} \right)} \right],$$

$$A = \rho \cdot \frac{\omega_J^2 \cdot S^2}{E} = \frac{\rho \cdot V_p^2}{E} = F(\sigma_0) \cdot \left( \frac{t_{i-teor}(S)}{t_i(S)} \right)^2 - \text{безразмерный параметр.}$$

На рис. 7 представлены средние значения коэффициентов Пуассона для горных пород по скв. № 24 Абазовской площади, определённые по формуле (П. 7.1) с использованием данных о времени первых вступлений  $G_t$  сейсмического каротажа и средней скорости  $G_v$  (таблица).

Оценка справедливости уравнения (П. 7.1) представлена на рис. 8, где оценка коэффициента Пуассона произведена по всей скв. № 35 Байрацкой площади по данным  $G_t$  сейсмического каротажа. Приведено ее сравнение с качественной оценкой, полученной с использованием ГИС (без использования модуля Юнга).

Определение интервальных скоростей Р-волн позволит производить количественную оценку значений коэффициента Пуассона в пределах горного массива и продуктивных горизонтов. Уравнение (П. 7) представляет собой уравнение физической связи двух годографов времени  $G_t$ , полученных по данным сейсмических полевых записей, и годографа скорости  $G_v$ , полученного по данным сейсмического каротажа, поскольку может быть применено для оценки коэффициента Пуассона с использованием одних либо других сведений.

В работе [4] показано, что среди 300 физических и химических элементов и веществ с известными данными об упругих физико-механических постоянных, 90 % этих данных удовлетворяют классическому волновому уравнению, что позволяет определять коэффициент Пуассона по продольной составляющей скорости Р-волны.

### **Заключение.**

1. Энергоинформационный метод анализа данных движения элементарных объектов литосферы Земли во время проведения сейсмического профилирования позволяет разработать динамическое уравнение годографов (ДУГ) времени и скорости, что даёт возможность производить оценку коэффициента Пуассона на этапе интерпретации волнового поля сейсмических записей. Знания о нем необходимы для проектирования конструкций скважин на нефть и газ при расчётах боковых напряжений на обсадную колонну.
2. Динамическое уравнение ДУГ отличается от известных алгебраических уравнений годографа [5] времени и скорости физической ясно-

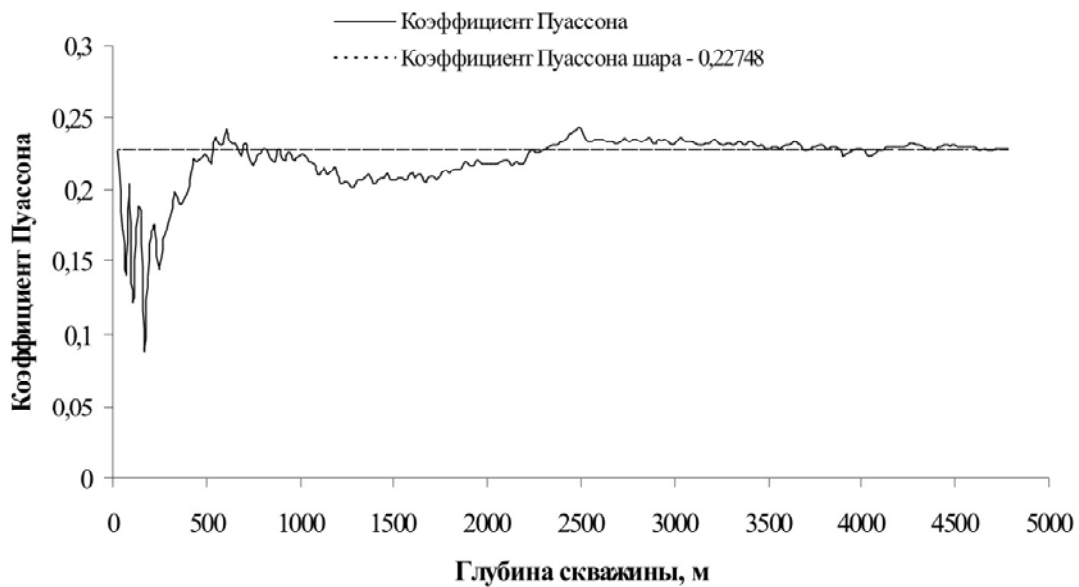


Рис. 7. Оценка среднего коэффициента Пуассона по скв. № 24 Абазовской площади

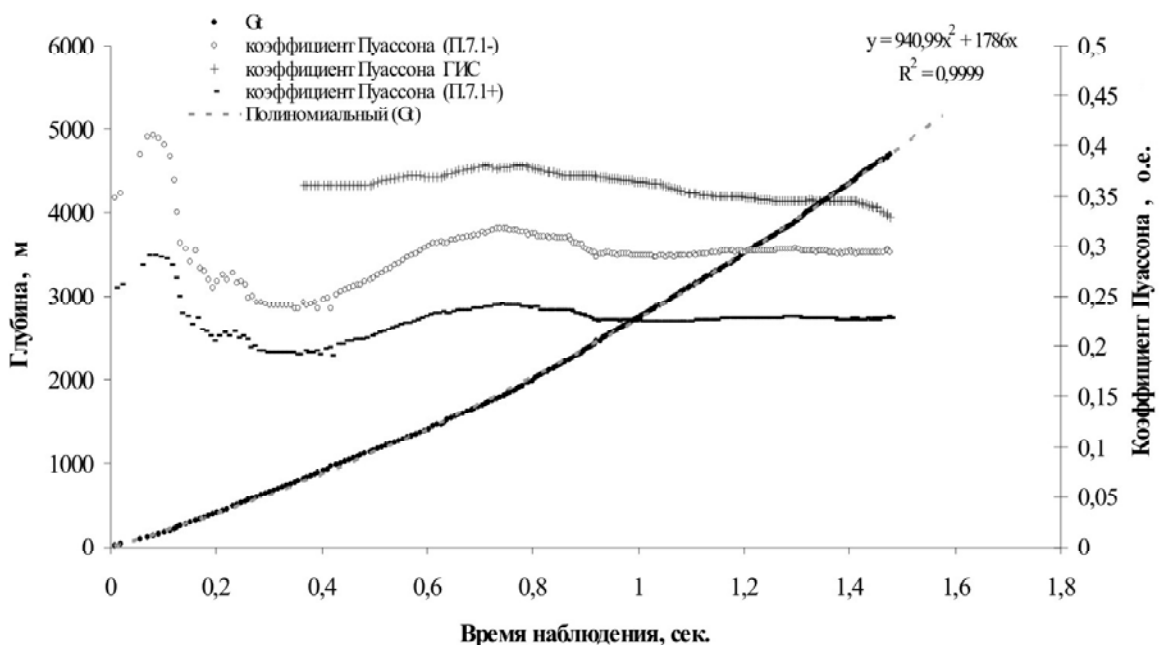


Рис. 8. Оценка среднего коэффициента Пуассона по скважине № 35 Байрацкой площади с использованием двух методов: ДУГ (численная оценка) и ГИС (качественная оценка); (П. 7.1 -) — корень взят со знаком минус, (П. 7.1+) — корень взят со знаком плюс

стью входящих в него параметров системы физических точек и их движения.

3. Динамическое уравнение ДУГ отличается от волнового тем, что представляет собой динамическую лучевую модель распространения единичного энергетического импульса в неоднородной энергетически анизотропной среде, свойства которой обусловлены изменением геостатической энергии с глубиной проникновения импульса.
4. Динамическое уравнение ДУГ годографа скорости отличается от известного уравнения ИМ-ГС [3] годографа скорости тем, что уравне-

ние ДУГ моделирует изменение энергетического состояния системы физических точек в динамике, а ИМ-ГС – в статике, т. е. изменение энергетического состояния единичного объема в зависимости от глубины его залегания.

1. Ефремов А.В., Бобров Д.С. Скважинная гравиметрия в промышленной геофизике: Сб. тез. докл. IX-ой международ. научно-практ. конф. и выставки. – Геленджик, 2007. – С. 54.
2. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – М.: Наука, 1971. – 406 с.
3. Дудля М.А., Карпенко В.М., Гриняк О.А., Цзян Гошен. Автоматизация процесу буріння. – Дніпропетровськ: Нац. гірничий ун-т, 2005. – 207 с.
4. Карпенко В.Н., Стародуб Ю.П., Стасенко В.Н., Билоус А.И. Энергоинформационный подход к вопросу оценки горизонтальной составляющей волнового поля по данным 1-D сейсмического эксперимента // Buletinul Insitutului de geologie si seismologie al Academiei de stiinte a moldovei. – № 2. – 2006. – С. 14–27.
5. Справочник геофизика. – Т. 4: Сейсморазведка. – М.: Недра, 1966. – 750 с.