Чингалаев Михаил Андреевич

Тюменский государственный университет

Кафедра Механики Многофазных Систем

Студент группы 23мТФ173

chingalaev_misha@rambler.ru

Бубнив Сергей Ярославович

Тюменский индустриальный университет

Магистрант 1-го года обучения

Вольф Альберт Альбертович

Тюменский государственный университет

Кафедра Моделирования Физических Процессов и Систем

Кандидат физико-математических наук, доцент

# ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕРМОБАРИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Chingalaev Mikhail Andreevich

University of Tyumen

Department of Mechanics of Multiphase Systems

Student of 23mTPh173 gr.

chingalaev_misha@rambler.ru

Bubniv Sergey Yaroslavovich

Tyumen Industrial University

Institute of geology and oil gas production

Post-graduate student

Volf Albert Albertovich

University of Tyumen

Department of Physical Processes and Systems Modeling

Ph. D. in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

# INVESTIGATION OF THE ELASTIC PROPERTIES OF ROCKS UNDER DIFFERENT THERMOBARIC CONDITIONS

***АННОТАЦИЯ.*** *Статья посвящена исследованию влияния эффективного давления и температуры на упругие свойства горных пород. В исследовании были задействованы как динамические, так и статические методы определения упругих свойств. Эксперименты проводились на образцах керна, отобранных из месторождения на 4-метровом интервале. В результате были получены различного рода зависимости. Знание и исследование упругих свойств пород позволяет предсказывать, корректировать и управлять нефтепромысловыми процессами с высокой эффективностью.*

***КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:*** *коэффициент Пуассона, модуль Юнга, горные породы, сжимаемость породы, упругие свойства.*

***ABSTRACT.*** *The article is devoted to the investigation of the influence of effective pressure and temperature on the elastic properties of rocks. The study involved both dynamic and static methods for determining elastic properties. The experiments were performed on core samples obtained from a reservoir at a 4-meter interval. As a result, various dependencies were obtained. Knowledge and investigation of elastic properties of rocks allows predicting, correcting and managing oilfield processes with high efficiency.*

***KEY WORDS:*** *Poisson ratio's, Young's modulus, rocks, rock compressibility, elastic properties.*

Упруго-механические свойства горных пород влияют на ряд процессов, происходящих в пласте в период разведки и разработки нефтяных месторождений. Так при бурении скважины через массив пород, в котором существует определённое напряжённое состояние, происходят возмущения в естественном поле напряжений. Начальное напряжённое состояние пород вблизи стенок скважины изменяется, при этом их упруго-механические свойства играют основную роль. Образовавшаяся зона аномалий в естественном поле напряжений вызывает существенные изменения условий залегания горных пород, которые могут быть причиной значительных изменений их фильтрационных свойств.

В процессе освоения скважин и разработки месторождений необходимо знать прочность породы на сжатие и разрыв. Эти же данные, наряду с модулем упругости, требуются при изучении процессов искусственного воздействия на породы, широко применяемые для увеличения притока нефти. Таким образом, лабораторные эксперименты необходимы для получения достоверной информации об упругих свойствах горных пород и интерпретации данных ГИС [5].

В зависимости от решаемых задач, параметры упругой среды определяют либо статическими, либо динамическими методами. Статические параметры характеризуют породу при довольно длительных процессах воздействия нагрузки на нее, динамические – при мгновенных воздействиях, например, взрывание, ударное бурение и т.п.

Динамические методы основаны на регистрации времён пробега волн через образец. В контролируемых условиях были определены времена прохождений продольной и двух поперечных волн. По времени пробега или скоростям распространения, были определены упругие характеристики.

Статические методы основаны на определении способности образца выдерживать определённые нагрузки в условиях, имитирующих естественное

залегание горных пород. В контролируемых условиях была определена сжимаемость порового пространства.

Объектом исследования был выбран интервал отбора керна из пласта АС11(1) с глубины 2502-2507 м. скв.719 Западно-Камынского месторождения, на котором по данным ГИС наблюдается участок более высоких по значению фильтрационно-емкостных свойств. По данным геологического описания на этом интервале находится мелкозернистый песчаник с известковыми примесями.

На участке отбиралась коллекция образцов с максимальной плотностью отбора. Затем на них были проведены исследования по определению значений скоростей продольных и поперечных ультразвуковых волн, и сжимаемости в условиях, моделирующих пластовые, при различной степени нагружения (поровое давление поддерживалось постоянным, а изменялось давление всестороннего обжима) на установках AutoLab 1500 и PBC-925 соответственно. В ходе исследований были рассмотрены термобарические условия измерений – эффективное давление и температура.

**Влияние давления**

На установке AutoLab 1500 были проведены испытания образцов керна при различном эффективном давлении. В результате чего, была получена скорость $\upsilon_P$, при $P_{эф}$=1. Авторы [3, 4] пишут о том, что скорости ультразвуковых волн имеют логарифмическую зависимость от давления. В процессе эксперимента было исследовано поведение горных пород при различных эффективных давлениях, начиная от 4 МПа и до 35 МПа, эффективное давление менее 4 МПа не могло быть реализуемо технически, так как это минимальное значение, позволяющее проводить эксперимент, при меньшем давлении флюид начинает идти не через поры образца, а огибает его и просачивается через края манжеты.

На рис. 1 показана зависимость скорости распространения продольной волны от давления. На поперечных волнах повышение эффективного давления сказывается незначительно.

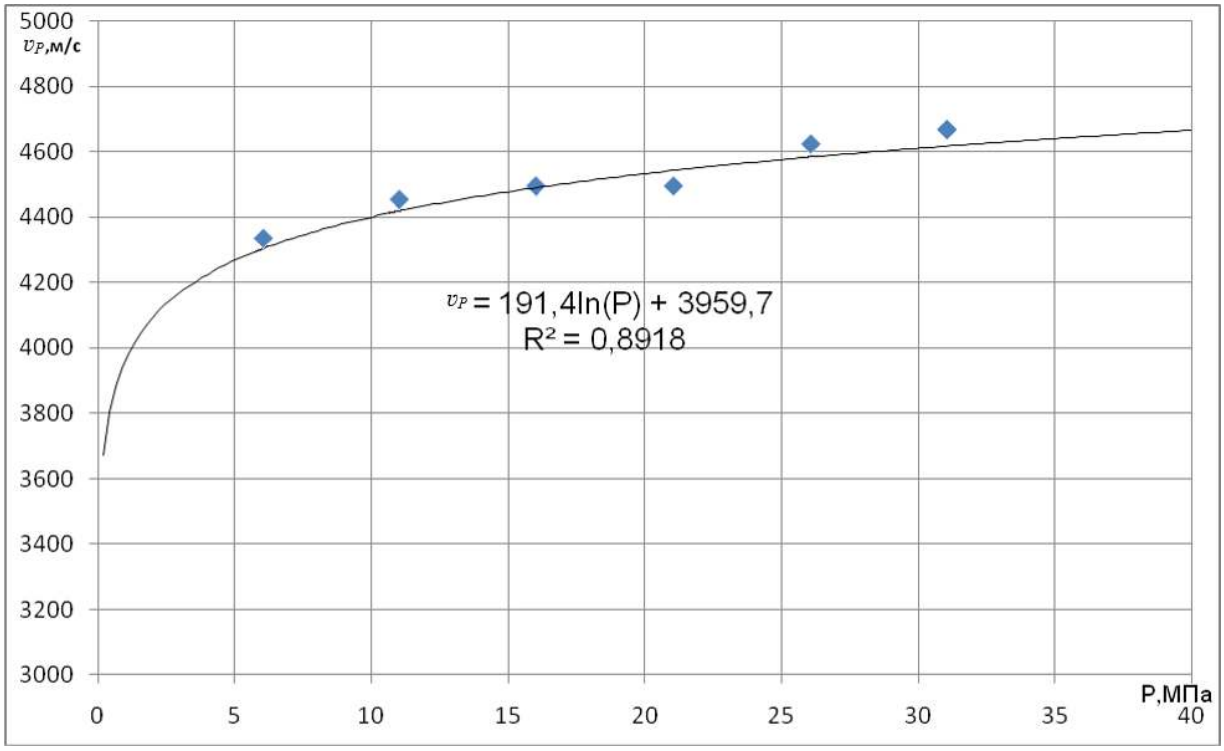


Рисунок 1 – Зависимость скорости распространения P волны от давления

**Влияние температуры**

Авторы [1, 2, 6] в своих работах рассматривали влияние температуры на скорость продольных и поперечных волн, они пришли к выводу, что в диапазоне 40-100 $^{o}$C влияние температурных эффектов не превышает погрешности измерения. Поэтому в условиях данного исследования мы ей пренебрегли.

**Расчёт упругих характеристик. Динамический метод**

С помощью ПИК AutoLab 1500 были рассчитаны следующие упругие характеристики: коэффициент Пуассона, модуль Юнга, модуль сдвига, модуль объёмной упругости и динамическая сжимаемость при росте эффективного давления.

Практический интерес для нас представляют коэффициент Пуассона. Для него построена зависимость от эффективного давления (рис. 2). Для остальных

характеристики, так же построены зависимости от эффективного давления (E, G, K на рис. 3, $\beta_V$ на рис. 4).

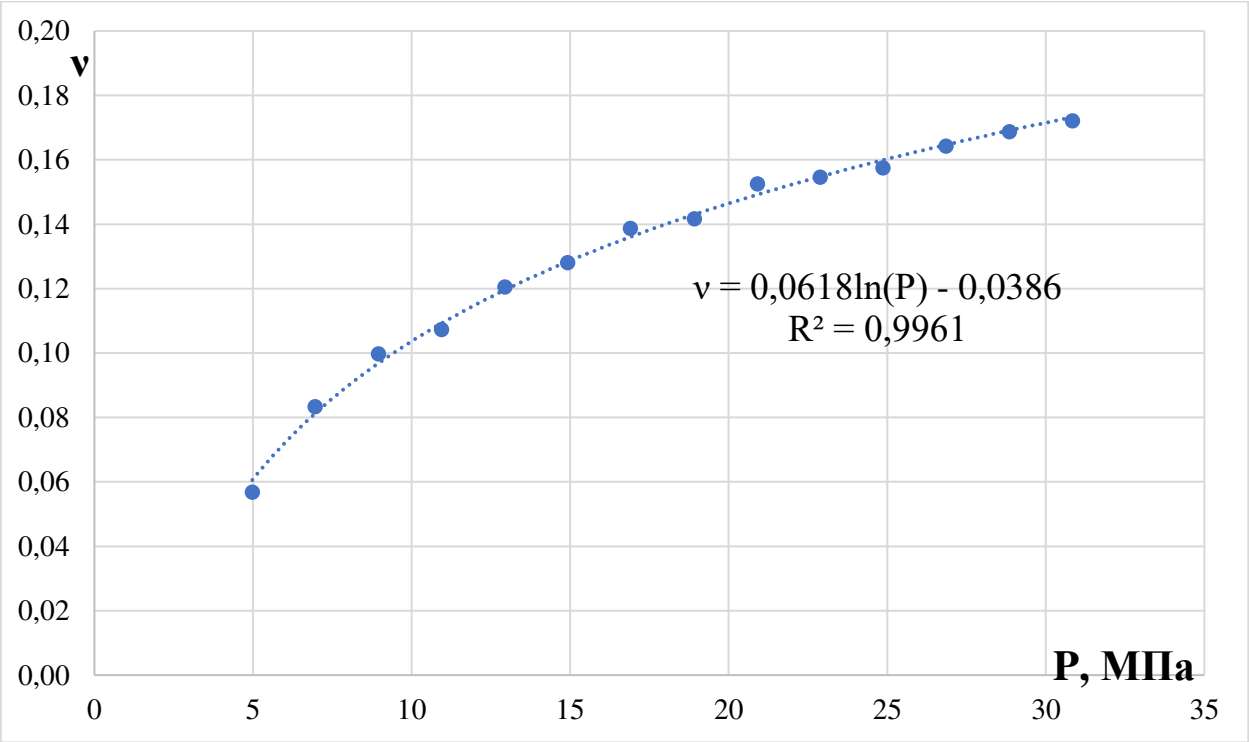


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента Пуассона от эффективного давления

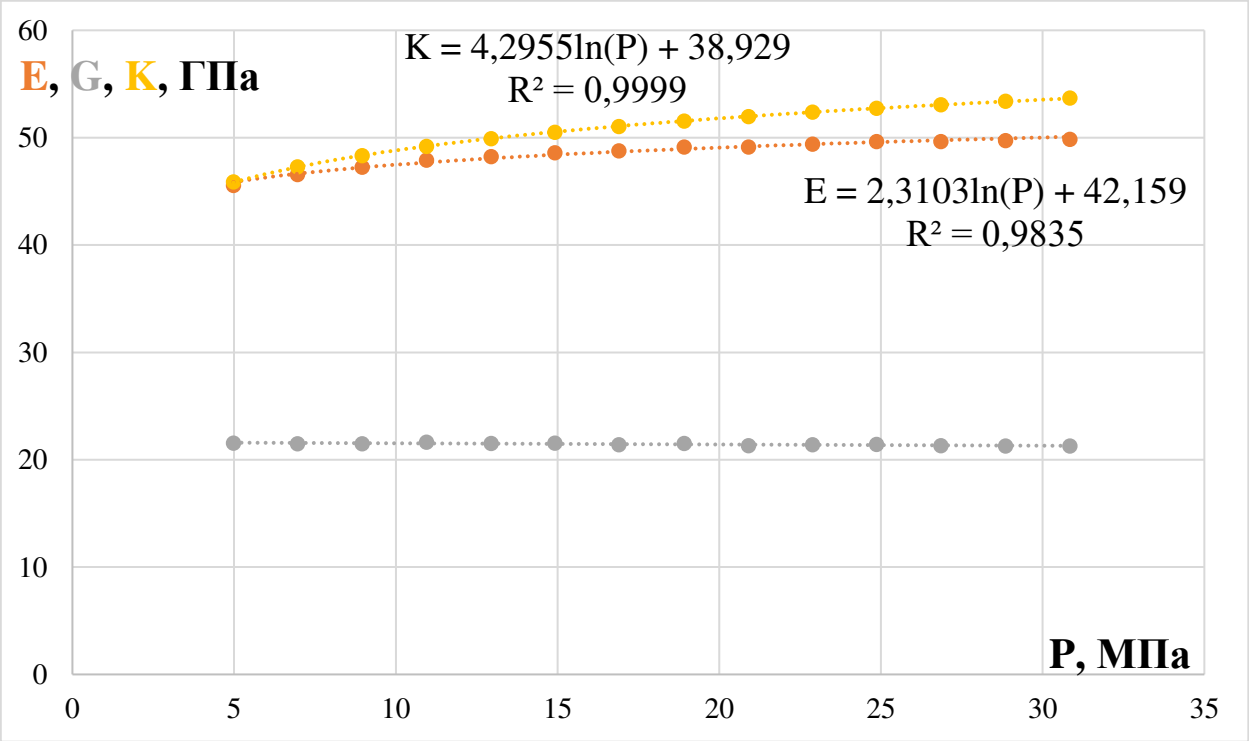


Рисунок 3 – Зависимость модуля Юнга, модуля сдвига и модуля объёмного сжатия от эффективного давления

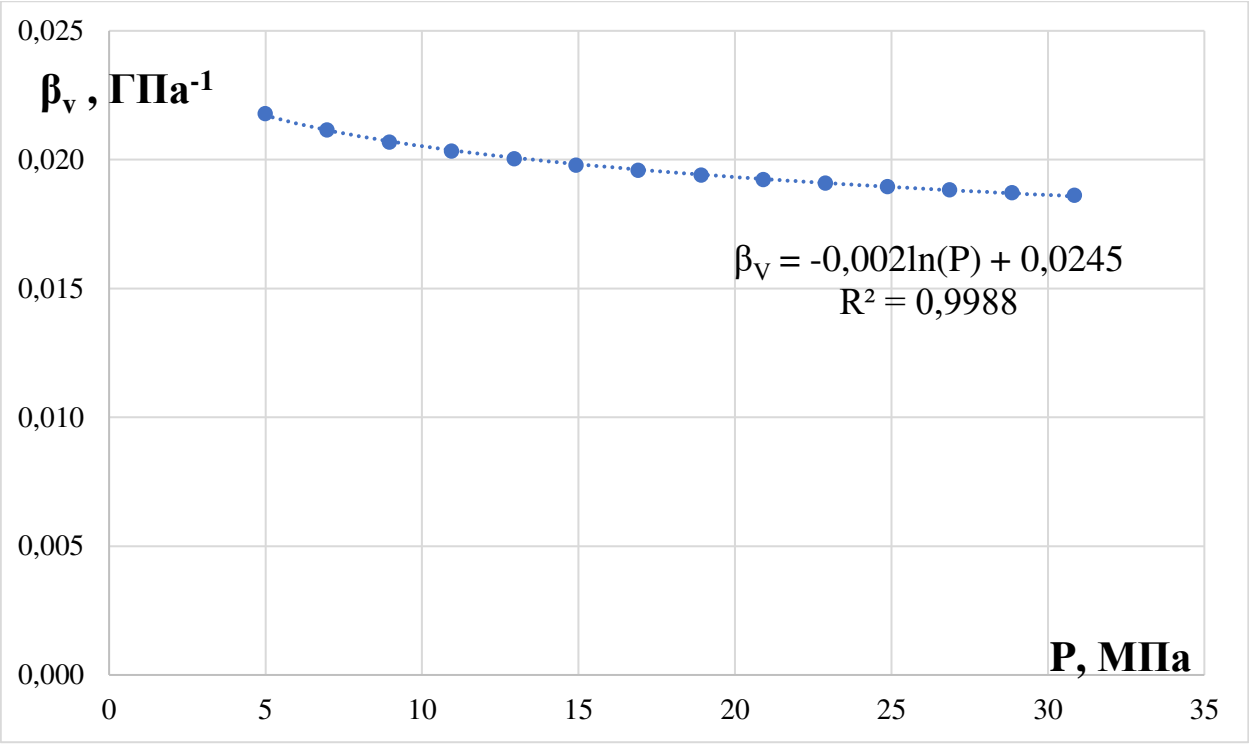


Рисунок 4 – Зависимость динамической сжимаемости от давления

**Статический метод**

С помощью ПИК РВС-925 была рассчитана статическая сжимаемость. Для неё была построена зависимость от эффективного давления (рис. 5).

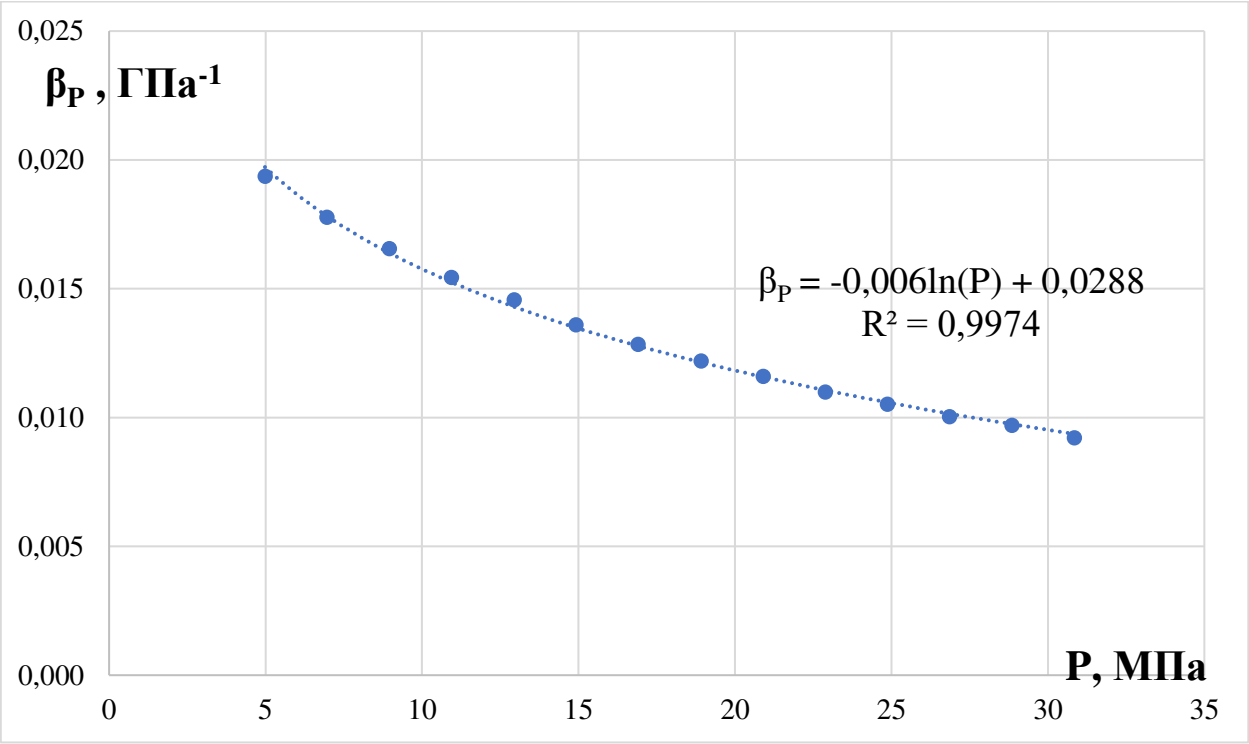


Рисунок 5 – Зависимость статической сжимаемости от давления

**Динамическая и статическая сжимаемость**

Рассмотрим зависимости динамической и статической сжимаемости от скорости распространения продольной волны для всех образцов (рис. 6 и рис. 7).

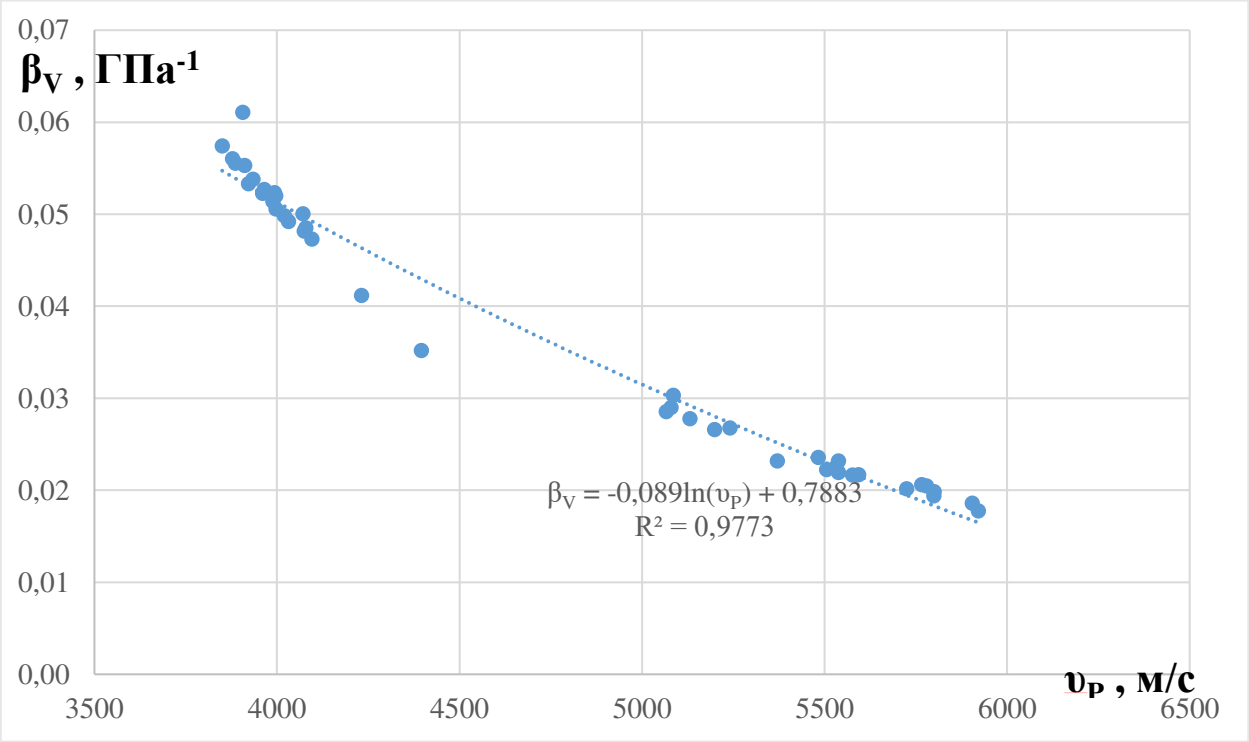


Рисунок 6 – Зависимость динамической сжимаемости от скорости распространения продольной волны

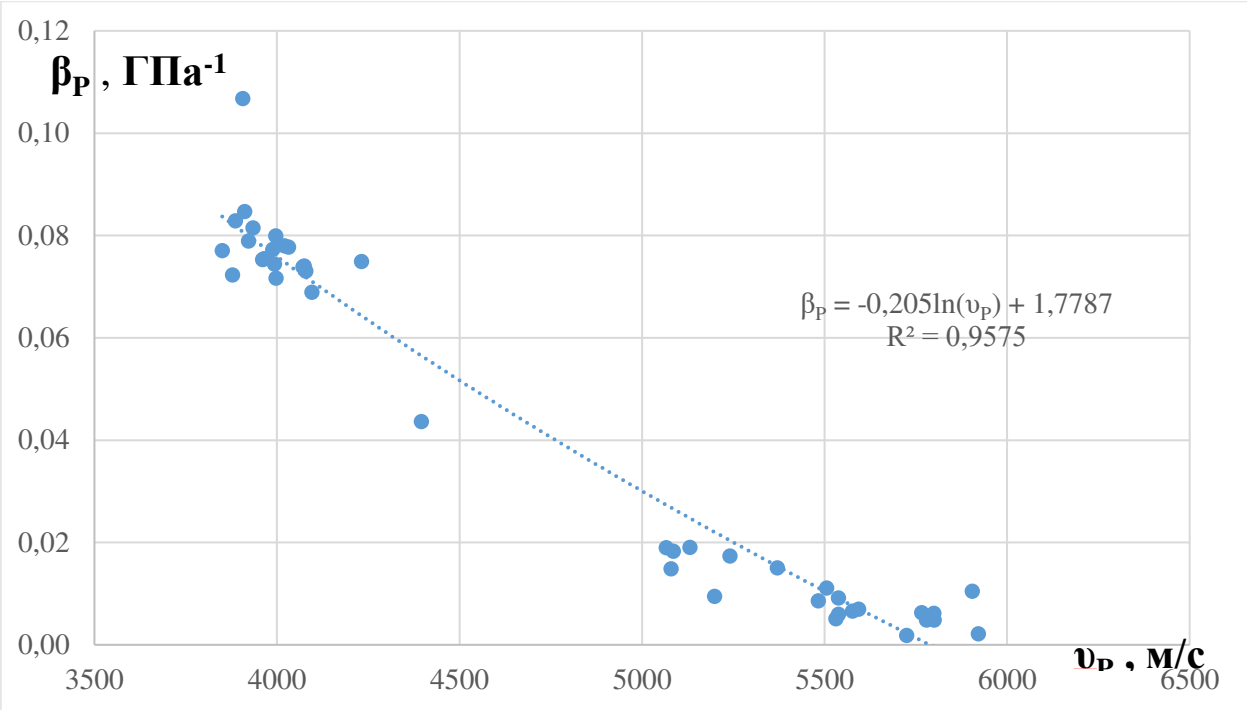


Рисунок 7 – Зависимость статической сжимаемости от скорости распространения продольной волны

**Сопоставление методов**

Сопоставим сжимаемость, полученную динамическим методом и сжимаемость, полученную статическим методом (рис. 8).

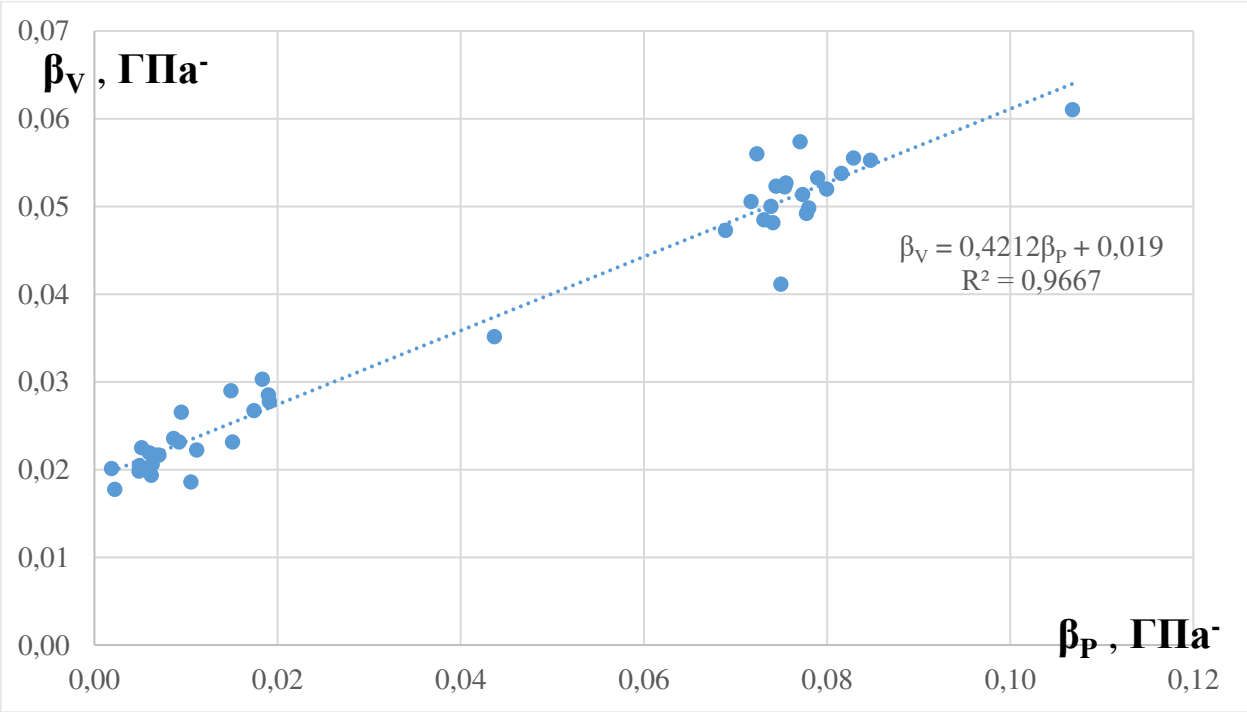


Рисунок 8 – Сопоставление динамической и статической сжимаемости

По рисунку видно, что между значениями наблюдается линейная зависимость:

$$\beta_V = k\beta_P + b,$$

где: $k$, $b$ – эмпирические коэффициенты, имеющие разные количественные значения для разных типов пород. В данном случае $k$ = 0,4212, $b$ = 0,019.

**Заключение**

В ходе исследования физики распространения волн в скважинах мы провели теоретические и экспериментальные исследования упругих параметров образцов горных пород при различных термобарических условиях, на примере четырёхметрового интервала отбора керна из пласта АС11(1). При этом, был проведен анализ взаимосвязи скоростей распространения P и S волн с термобарическими условиями. По результатам проведенных выше исследований можно сделать следующие выводы:

1. Для исследуемого интервала получены упругие характеристики при различных термобарических условиях. Для них были построены зависимости от эффективного давления. Для динамической и статической сжимаемости построены зависимости от скорости продольной волны для всего интервала отбора. Сопоставлены динамическая и статическая сжимаемости. Полученные зависимости можно использовать для интерпретации данных ГИС.

2. Регистрация скоростей распространения продольных и поперечных волн в комплексе с данными других методов каротажа позволяет получить сведения об упругих свойствах горных пород в условиях их естественного залегания.

3. Знание упруго-механических свойств горных пород разреза позволяет предсказывать, корректировать и, в определённой степени, управлять нефтепромысловыми процессами с высокой эффективностью.

## БИБЛИОГРАФИЯ


1. Джеббар Тиаб**.** Петрофизика. Теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов: 2-е издание / Джеббар Тиаб, Эрл Ч. Доналдсон. – дополненное. – Пер. с англ. – М.: ООО «Премиум Инжиниринг», 2009. – 868 с.

2. Дортман Н. Б. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых: 2-е издание / Н. Б. Дортман, В. В. Бродовой, А. А. Никитин. – перераб. и доп. – М.: «Недра», 1984. – 455 с.

3. Ивакин Б. Н. Акустический метод исследования скважин / Б. Н. Ивакин, Е. В. Карус, О. Л. Кузнецов. – М.: «Недра», 1978. – 320 с.

4. Котяхов Ф. И. Физика нефтяных и газовых коллекторов / Ф. И. Котяхов. – М.: «Недра», 1977, 287 с.

5. Лимбергер Ю. А. Изучение упругих свойств горных пород для нефтепромысловой практики. Обзорная информация. Серия «Нефтегазовая геология и геофизика» / Ю. А. Лимбергер, В. М. Ильинский, С. И. Силиверстова. – М.: ВНИИОЭНГ, 1982. – 44 с.

6. Hall, H. N. Compressibility of reservoir rocks. Trans. AIME, Vol. 198, 1953, pp. 309-311.