

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. Ломоносова

XXIX Международная конференция
студентов, аспирантов и молодых ученых
по фундаментальным наукам



Международный
молодежный научный форум

“ЛОМОНОСОВ–2022”

Секция “ФИЗИКА”

Подсекция
“ГЕОФИЗИКА”

Сборник тезисов докладов

МОСКВА
Физический факультет МГУ
2022

XXIX Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам «Ломоносов—2022». Секция «Физика». Сборник тезисов. — М. Физический факультет МГУ, 2022. ISBN 978-5-8279-0220-1

ПОДСЕКЦИЯ «ГЕОФИЗИКА»

Геомеханические процессы при интенсификации добычи углеводородов из трещиноватых коллекторов	119
Анисимов М.И.	119
Моделирование сейсмологических воздействий для расчета динамики зданий и сооружений.....	120
Бабенко М.О.	120
Метод расчёта фазового разделения многокомпонентных углеводородных смесей с помощью прямой минимизации энергии	121
Володина Е.Е.	121
Пространственно-временные вариации параметра кластеризации землетрясений Камчатского региона.....	121
Крушельницкий К.В.	121
Влияние вертикального профиля мгновенной скорости потока на устойчивость плоскопараллельного течения в пограничном слое	122
Ян Ханьлинь	122
Моделирование простейшего реактора в грозовом облаке	123
Землянская Д. И.	123
Численное моделирование фазового поведения углеводородов на основе современных уравнений состояния	123
Бевзо М.О.	123
Параметры режима вулканической сейсмичности	124
Греков Е.М.	124
Особенности акустических шумов в добывающих скважинах при наличии зон притока.....	125
Сушина М.Р.	125
Результаты контроля частот первых мод собственных колебаний высотного здания МГУ за 10 лет.....	126
Миросердов И. М.	126
Параметры очагов акустической эмиссии в образцах горных пород.....	127
Хамидуллин А.	127
Стадийность проявления аномалий сейсмического режима перед сильными землетрясениями.....	128
Петрушов А.А.	128
Особенности распределения землетрясений по величине сейсмического момента	128
Козлова А. А.	128
Влияние закачки диоксида углерода в пласт на объем добываемой нефти.....	128
Ильченко И.С.	128
Критерий бесконечной гамма обратной связи в модели Дваера	129
Седельников А.С., Землянская Д.И., Стадничук Е.М.	129
Проявления атмосферных волн в геомагнитных вариациях, зарегистрированных на обсерватории "Бельск".....	130
Рябова С.А.	130
Сейсмические аномалии по данным каталога землетрясений Китая	131
Гао Фэнкай	131
Частотно-зависимое затухание акустических волн в горных породах	132
Сахаров П.С.	132
Физическое моделирование механических и фильтрационных процессов в окрестности перфорационного отверстия в скважинах, пробуренных в низкопроницаемых породах-коллекторах	132
Шевцов Н.И. Барков С.О.	132
Концепция создания месторождения будущего.....	134
Скворцов Р.Е., Ершова Е.С.	134
Закономерности термостимулированной акустикоэмиссионной активности.....	135
Индаков Г.С.	135
Экспериментальное изучение процессов деформирования и фильтрации в трудно извлекаемых породах-коллекторах ачимовских отложений при реализации метода направленной разгрузки пласта	136
Химуля В.В.	136



ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ ТРЕЩИНОВАТЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Анисимов М.И.

*МФТИ, физтех-школа электроники, фотоники и молекулярной физики,
Долгопрудный, Россия*

E-mail: anisimov.mi@phystech.edu

Трещиноватые коллекторы содержат около 50 % известных мировых запасов нефти [5] и газа, в их число входят и некоторые из крупнейших месторождений. При проведении оценок и планировании дизайна гидроразрыва пласта и других мероприятий по интенсификации добычи полевые инженеры часто пренебрегают процессами разрушения естественных трещин в таких коллекторах и их нелинейным откликом на давление. Поэтому возникает необходимость разработки симулятора, который позволил бы моделировать интенсификацию добычи углеводородов в трещиноватых коллекторах, именно — кислотную обработку призабойной зоны, кислотный гидроразрыв пласта, с учётом эффектов, связанных с естественными трещинами.

В рамках данной работы была создана численная геомеханическая модель, призванная устранить существующий пробел в рабочем процессе планирования интенсификации добычи из трещиноватых коллекторов. Была построена расчётная модель, описывающая поведение такой среды при закачке жидкости. При повышении давления естественные трещины могут необратимо разрушаться, смещаться и раскрываться [1, 4], при этом растёт их гидравлическая проводимость. В работе используется алгоритм масштабирования [2, 3], позволяющий перейти от гидромеханических параметров естественных трещин к гидродинамическим параметрам самого пласта, используемых в моделировании добычи из газонефтяных коллекторов. Применение этого алгоритма позволяет узнать, как проницаемость, пористость и сжимаемость трещиноватого коллектора сложным образом зависят от давления. Перейдя к параметрам пласта, мы формулируем нелинейную анизотропную задачу диффузии давления. Для решения поставленной задачи предложена эффективная численная схема.

Численная модель была реализована в виде программы. С её помощью пользователь может посчитать объём пласта, изменённый в результате работ по интенсификации добычи (stimulated reservoir volume, SRV), и узнать механическое состояние естественных и созданных трещин после операции.

С помощью новой модели становится возможным:

- определение механического состояния естественных трещин после работ по интенсификации добычи;
- моделирование трещин гидроразрыва: их образования, распространения и взаимодействия с естественными трещинами;
- описание необратимых изменений в пористости и анизотропной проницаемости коллектора, возникающих в результате разрушения естественных трещин и образования новых трещин гидроразрыва;
- расчет эффективности работы по интенсификации добычи и показателей продуктивности, полученный, учитывая SRV в гидродинамическом симуляторе нефтяного или газового коллектора.

Литература

1. Barton, N., S. Bandis, and K. Bakhtar. 1985. "Strength, Deformation and Conductivity Coupling of Rock Joints." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 22 (3): 121–40. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(85\)93227-9](https://doi.org/10.1016/0148-9062(85)93227-9).
2. Dong, Z., W. Li, G. Lei, H. Wang, and C. Wang. 2019. "Embedded Discrete Fracture Modeling as a Method to Upscale Permeability for Fractured Reservoirs." *Energies* 12 (5). <https://doi.org/10.3390/en12050812>.
3. Oda, M. 1986. "An Equivalent Continuum Model for Coupled Stress and Fluid Flow Analysis in Jointed Rock Masses." *Water Resources Research* 22 (13): 1845–56. <https://doi.org/10.1029/WR022i013p01845>.
4. Willis-Richards, J, K Watanabe, and H Takahashi. 1996. "Progress toward a Stochastic Rock Mechanics Model of Engineered Geothermal Systems." *Journal of Geophysical Research B: Solid Earth* 101 (8): 17481–96. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0030474787&partnerID=40&md5=b753e50b5f183f0d4d3bb64ad1bebf9d>.
5. GeoSoftware Rock Physics Webinar Series, <https://cgg.pages.salesfusion.com/EA-RockPhysics-Webinar-Series-2020>.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ДИНАМИКИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Бабенко М.О.

МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

E-mail: babenko.mo19@physics.msu.ru

Сейсмичность является одним из важных факторов, которые, наряду с ветровыми нагрузками, принимаются во внимание при строительстве зданий и сооружений. Сейсмическое воздействие может быть причиной катастроф, которые грозят опасностью для жизни и здоровья людей и возможно нанесение крупного материального ущерба. Расчёты конструкций зданий в ряде случаев должны проводиться с учётом сейсмических воздействий.

Методы их учёта при проектировании зданий развивается с первой половины прошлого века, начиная с упрощённых моделей здания и собственно ускорений грунта. На следующих этапах, в связи с расширением возможностей вычислительной техники, моделирование зданий стало более адекватным реальным объектам строительства, а модели сейсмических воздействия более-менее формализованы как спектр (воз)действия (в отечественной терминологии). На современном уровне развития вычислительной техники и программного обеспечения появляется возможность расчёта колебаний (проектируемых) зданий при колебаниях грунта (основания), любого, сколь угодно приближенного к реальному (спектрального) состава, вплоть до расчёта напряжений в конкретных конструкциях здания при конкретном землетрясении.

Т.к. невозможно точное предсказание землетрясений, для расчета возможных воздействий на тех или иных территориях используются так или иначе формализованные статистические данные по сейсмичности, полученные в предыдущие годы. На сегодня эти воздействия обобщены в картах общего сейсмического районирования в виде ожидаемой за определенный срок вероятности превышение некоторого значения балльности.

В настоящей работе сделана попытка описать методику подхода к расчёту сейсмического воздействия на здание на примере высотного здания МГУ по записям землетрясений, имеющихся в архиве сейсмостанции физического факультета, с проверкой результатов моделирования по записям колебаний здания, проводимого в рамках мониторинга.

Литература

1. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*

2. Ф.Ф. Аптикаев «Инструментальная шкала сейсмической интенсивности»
3. Ю.П. Назаров «Расчетные параметры волновых полей сейсмических движений грунта»
4. Евразийский форум по инженерной сейсмологии, геотехнике и динамике сооружений.

МЕТОД РАСЧЁТА ФАЗОВОГО РАЗДЕЛЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СМЕСЕЙ С ПОМОЩЬЮ ПРЯМОЙ МИНИМИЗАЦИИ ЭНЕРГИИ

Володина Е.Е.

МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

Композиционное моделирование играет важную роль в нефтегазовой отрасли. Модели, позволяющие с достаточной точностью воспроизводить фазовые переходы в системах углеводородов, крайне важны при разработке месторождений. Однако композиционное моделирование (в частности, итерационный алгоритм) требует больших вычислительных ресурсов (особенно в околокритической области). Поэтому необходимо найти альтернативное решение задачи фазового разделения без потери точности. Алгоритм расчета фазового разделения должен быть применим в широком диапазоне условий, а именно в околокритической области и в случае трехфазных равновесий.

Рассматриваемый автором алгоритм вычисления позволяет определить параметры флюидов с помощью метода прямой минимизации энергии Гиббса многофазной многокомпонентной системы. Для оценки точности применяемого алгоритма автором работы выполнено сравнение результатов вычислений с данными, полученными с использованием итерационного алгоритма, а также данными лабораторных экспериментов для многокомпонентных смесей.

Литература

1. Брусиловский А.И. Фазовые превращения при разработке месторождений нефти и газа. М.: Грааль, 2002.
2. А.В. Исаева, В.А. Доброжанский, Л.А. Хакимова, Ю.Ю. Подладчиков. Численное моделирование фазовых равновесий многокомпонентных углеводородных систем с помощью прямой минимизации энергии. Газовая промышленность, № 2 (812), 2021.
3. Danesh A. PVT and Phase Behaviour of Petroleum Reservoir Fluids. Developments in Petroleum Science. Vol. 47. First edition. Oxford, UK: Elsevier Science, 1998.
4. Turek A. Equation of State and PVT Analysis. Texas: Gulf Publishing Company Houston, 2007.
5. Khakimova L., Isaeva A., Dobrozanskiy V., Podladchikov Y. Direct Energy Minimization Algorithm for Numerical Simulation of Carbon Dioxide Injection. SPE Russian Petroleum Technology Conference. 2021. Paper No. SPE-206611-MS.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРА КЛАСТЕРИЗАЦИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАМЧАТСКОГО РЕГИОНА

Крушельницкий К.В.

МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

В качестве объекта исследований выбраны Камчатский регион, Курильские острова, Япония, поскольку эти регионы характеризуются высокой сейсмической активностью.

Был введен параметр кластеризации землетрясений, называемый продуктивностью.

Было обнаружено, что есть корреляция между сильными землетрясениями и значением средней продуктивности. Так, сильные землетрясения происходят в областях повышенной средней продуктивности (аномальные области). Также, если построить график зависимости средней продуктивности внутри аномальных областей от времени, то перед сильным землетрясением будет наблюдаться резкий скачок средней продуктивности.

Полученные результаты весьма перспективны для прогноза землетрясений.

ВЛИЯНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ МГНОВЕННОЙ СКОРОСТИ ПОТОКА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОГО ТЕЧЕНИЯ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

Ян Ханьлинь

Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

E-mail: hanlinyan@yandex.ru

Во всех технических и природных системах, включающих потоки жидкости, возникает взаимодействие течений и твердых поверхностей. В тонком слое потока, прилегающем к стенке, вязкость доминирует, и жидкость течет без проскальзывания, в отличие от «идеальной» жидкости. Выше вязкого слоя существует область, где вязкость еще сильно влияет на течение, образуя пограничный слой. Хотя двухслойная модель немного упрощена, этот подход является практическим способом моделирования. Течение жидкости удовлетворяет уравнению Навье-Стокса, включающего влияние вязкой диффузии и градиента давления. Для несжимаемой жидкости

$$\frac{d\vec{u}}{dt} = -\frac{\vec{\nabla} p}{\rho} + \nu \Delta \vec{u}, \vec{\Delta} \vec{u} = 0, \vec{u}|_s = 0 \quad (1)$$

Для стационарных потоков без градиента давления на основе соображений подобия получен вертикальный профиль горизонтальной скорости $u(y)$, называемый «универсальным законом стенки»[1]

$$u = u_* \left(\frac{1}{k} \ln \frac{yu_*}{\nu} + C \right), u_* = \sqrt{\nu \frac{\partial u}{\partial y}}, k, C = const \quad (2)$$

В работе экспериментально получены вертикальные профили скорости в пограничном слое потока с обратным градиентом давления в различных фазах периодического процесса торможения жидкости. Показано, что в фазе максимального торможения течения вертикальный профиль скорости имеет локальный минимум с двумя точками перегиба над верхней границей вязкого слоя. Показано, в слое, содержащем нижнюю точку перегиба течение устойчиво, а в слое с верхней точкой перегиба течение теряет устойчивость при критическом значении перепада скорости вдоль горизонтальной оси. В этом слое формируется цилиндрический вихрь, что подтверждает вывод о потере устойчивости ламинарного течения.

Литература

1. Prandtl L. Über Flüssigkeitsbewegung bei sehr klner Reibung // Proc. Third Inter. Math. Congr., 1904. Heidelberg. P. 484.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТЕЙШЕГО РЕАКТОРА В ГРОЗОВОМ ОБЛАКЕ

Землянская Д. И.

*МФТИ, Физтех-школа физики и исследований им. Ландау, Москва, Россия**E-mail: zemlianskay.d@phystech.edu*

Большой интерес для физики атмосферы представляет исследование физического явления, предложенного Гуревичем [1], лавинообразного размножения в веществе быстрых электронов, которое называют пробоем на убегающих электронах (ПУЭ). В процессе распространения в атмосфере они могут вызвать рождение гамма-квантов.

При определенных условиях системы возможно зарождение обратной связи в ячейке. Электроны за счёт наличия в системе поля будут ускоряться, а попадая в поле противоположного направления - поворачивать. По всему пути они будут испускать гамма-кванты, на которых поле не действует, тем самым играя ключевую роль в формировании безостановочного процесса.

Целью данной работы было исследование модели простейшего реактора, изучение его критических характеристик путем моделирования на GEANT4. Исследования проводились для гамма-кванта с энергией 4 МэВ в полях в диапазоне 100 - 260 кВ/м на высоте 10 км от поверхности Земли.

Литература

1. А.В. Гуревич, К.П. Зыбин 2001. Пробой на убегающих электронах и электрические разряды во время грозы. Успехи физических наук, 117, 11, 1177–1198
2. Dwyer, J. (2003). A fundamental limit on electric fields in air. Geophysical Research Letters, 30(20), 1-4.
3. Dwyer, J., & Babich, L. (2011). Low-energy electron production by relativistic runaway electron avalanches in air. Journal of Geophysical Research, 116, 1-14.
4. J.Allison et al., "Recent developments in GEANT4" Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment 835, 186-225(2016)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВОГО ПОВЕДЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ
НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ УРАВНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ

Бевзо М.О.

*МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия**E-mail: bevezomo@gmail.com*

Необходимость рассмотрения фазового равновесия углеводородов возникает при разработке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений [1]. При этом численное моделирование позволяет находить такие параметры системы, как молярные объемы, давления и плотности сосуществующих в термодинамическом равновесии фаз. В данной работе исследуется один из используемых алгоритмов нахождения этих параметров, основанный на прямой минимизации свободной энергии системы [2]. Свободная энергия вещества может быть найдена из различных уравнений состояния. На данный момент в нефтегазовой промышленности в основном используются кубические уравнения состояния [1]. Одним из новых уравнений, применяемых при расчете фазовых равновесий углеводородов, является уравнение PC-SAFT [3]. Это уравнение получено с помощью квантовой теории возмущений при рассмотрении молекулы как твердой цепи, состоящей из сферических сегментов.

В данной работе проведено численное моделирование состояния фазового равновесия некоторых чистых углеводородов с использованием как кубических уравнений со-

стояния, так и уравнения PC-SAFT. Результаты моделирования сопоставлялись с экспериментальными данными [4, 5, 6]. Для рассмотренного набора веществ выполненный анализ позволил оценить точность описания веществ с использованием различных уравнений состояния, выявить преимущества и недостатки этих уравнений состояния.

Литература

1. Брусиловский А.И. Фазовые превращения при разработке месторождений нефти и газа. - М.: «Грааль», 2002.
2. Исаева А.В., Доброжанский В.А., Хакимова Л.А., Подладчиков Ю.Ю. Численное моделирование фазовых равновесий многокомпонентных углеводородных систем с помощью прямой минимизации энергии. Газовая промышленность N2, 2021, с. 812.
3. Gross J., Sadowski G. Application of perturbation theory to a hard-chain reference fluid: an equation of state for square-well chains. Fluid Phase Equilibria 168, 2000, 183-199.
4. Kleinrahm R., Wagner W. Measurement and correlation of the equilibrium liquid and vapour densities and the vapour pressure along the coexistence curve of methane. The Journal of Chemical Thermodynamics v.18, i.8, August 1986, p.739-760.
5. Friend D.G., Ely J.F., Ingham H. Tables of experimental data used for the correlation of the thermophysical properties of ethane. NISTIR 3953, January 1993.
6. Duschek W., Kleinrahm R., Wagner W. Measurement and correlation of the (pressure, density, temperature) relation of carbon dioxide. I. The homogeneous gas and liquid regions in the temperature range from 217 K to 340 K at pressures up to 9MPa. The Journal of Chemical Thermodynamics v.22, i.9, September 1990, p. 827-840.

ПАРАМЕТРЫ РЕЖИМА ВУЛКАНИЧЕСКОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ

Греков Е.М.

МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

E-mail: grekov.em16@physics.msu.ru

Одной из основных теоретических задач сейсмологии является исследование механизмов реализации землетрясений. Для этого изучается сейсмический режим – совокупность землетрясений некоторого региона распределённых во времени и пространстве. Сейсмический режим описывается большим количеством различных статистических параметров, которые называются параметрами режима сейсмичности. Сейсмические параметры косвенно несут информацию о физических параметрах среды, таких как, температура, пористость, трещиноватость, упругие модули и прочие, позволяя количественно сравнивать сейсмические режимы для различных времён и регионов, тем самым давая возможность строить гипотезы о механизмах процессов, происходящих в недрах. В данной работе на примере каталога землетрясений Исландии исследуются такие параметры режима сейсмичности как: наклон графика повторяемости (*b-value*), параметры Омори для афтершоковых последовательностей (*p-value*, *c-value*), а также продуктивность землетрясений (Λ).

Исследование сейсмических параметров уже неоднократно проводились для различных тектонических режимов [1], основным результатом этих исследований является факт наличия аномального повышения *b-value* перед крупными событиями. Это явление, возможно, объясняется фрактальной природой образования трещин в коре, а также механизмом землетрясений, который заключается в накоплении напряжений и его последующим сбросом. Также проводились исследования параметров сейсмического режима для так называемых «сейсмических роёв» [2], предполагаемой причиной которых является диффузия флюида в породы, для которых также была выявлена аномалия *b-value*. Аналогичные «рои» присутствуют и в вулканической сейсмичности.

Связь параметров Омори с физическими свойствами среды может быть объяснена с точки зрения представления афтершоковой последовательности, как совокупности ре-

лаксаторов [3]. В такой интерпретации параметры Омори обретают физический смысл, например, *c-value* имеет смысл минимального времени жизни релаксаторов и можно предположить, что этот параметр будет зависеть, например, от температуры. В работе [4] было показано, что *c-value* увеличивается с глубиной в геотермальных зонах.

Вулканическая сейсмичность имеет довольно значительные отличия от тектонической, заключающиеся в иной природе сейсмичности: здесь вместо механизма накопления и сброса напряжений имеет место разрушение породы под давлением магмы, низкочастотные сейсмические волны, возникающие из-за колебаний большого объёма магмы, а также события имеющие взрывной характер, когда раскалённые газы резко вырываются на поверхность. Поэтому изучение режима вулканической сейсмичности представляет особый интерес.

Цель данного исследования: установить наличие или отсутствие закономерностей в нескольких параметрах сейсмического режима, а также связей между ними либо связей с физическими параметрами среды.

Литература

1. Попандопуло Г. А. Детальные исследования временных вариаций параметра *b-value* закона Гутенберга-Рихтера по данным высокоточных сейсмических наблюдений на Гармском полигоне в Таджикистане // Физика Земли. — 2018. — № 4. — С. 79–99.
2. Потанина М. Г., Смирнов В. Б., Бернар П. Особенности развития сейсмической роевой активности в коринфском рифте в 2000–2005 гг. // Физика Земли. — 2011. — № 7. — С. 54–66.
3. В. Б. Смирнов, Т. И. Карцева, А. В. Пономарев, А. В. Патонин, Р. Bernard, В. О. Михайлов, М. Г. Потанина. О взаимосвязи параметров Омори и Гутенберга-Рихтера в афтершоковых последовательностях. Физика Земли. 2020. 3-22. 10.31857/S0002333720050117.
4. Shebalin P., Narteau C. Depth dependent stress revealed by aftershocks // Nature communications. — 2017.

ОСОБЕННОСТИ АКУСТИЧЕСКИХ ШУМОВ В ДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИНАХ ПРИ НАЛИЧИИ ЗОН ПРИТОКА

Сушина М.Р.

МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

E-mail: sushina.maria@yandex.ru

Для оптимизации режима работы добывающих скважин необходима подробная информация о количестве, расположении и характере зон притока. Данную информацию получают путем интерпретации измерений комплекса промыслово-геофизических исследований (ПГИ).

В настоящее время для добычи нефти и газа активно используются скважины с горизонтальным заканчиванием, интерпретация данных ПГИ, в которых значительно осложнена. Основным осложняющим фактором является значительное влияние особенности траектории на показания стандартных методов ПГИ из-за гравитационного расслоения многофазного потока в стволе скважине [1]. Для получения дополнительной информации о физико-геологической обстановке в скважине в комплекс ПГИ все чаще включают дополнительные методы, в меньшей степени подверженные влиянию траектории. Одним из таких методов является пассивная акустическая шумометрия.

Данная работа направлена на исследование механизмов генерации шумов в коллекторе в области притока флюидов в ствол добывающей скважины. С этой целью получена оценка параметров течения в естественных трещинах в интервалах шумопроявления и определён режим течения в трещинах.

Анализ проводился на совокупности данных широкополосной шумометрии, регистрируемой в эксплуатационных скважинах совместно с типичным набором ПГИ, включающими в себя измерения температуры, давления, скорости течения флюида и процентного содержания воды по стволу скважины [1].

Методика оценки параметров течения в коллекторе в интервале притока включала в себя следующие этапы:

1. Уточнение информации о расположении зон и типах притоков по результатам моделирования
2. Определения средних параметров зоны притока (эффективная пористость, толщина трещины, ширина зоны притока) по известным полевым измерениям (величина притока каждой фазы, перепад давления, параметры притекающего флюида) [3]
3. Оценка скорости флюида, числа Рейнольдса и основной частоты шумогенерации (частоты крупномасштабных пульсаций) для каждой зоны притока [2]
4. Уточнение локальных параметров зоны притока (эффективная пористость, толщина трещины, ширина зоны притока), наилучшим образом соответствующих полевым измерениям и акустическим спектрам

Продоланный анализ позволил определить единые параметры пласта (эффективная пористость и толщина трещин) для совместного описания гидродинамических процессов и части регистрируемого спектра.

Проведенная оценка чисел Рейнольдса и основных частот шумогенерации для притоков газа и жидкостей в естественных трещинах на границе скважина-пласт показала:

- зоны сильного шумопроявления для притока газа соответствуют высоким числам Рейнольдса
- числа Рейнольдса для притока жидкостей из естественных трещин малы, что объясняет отсутствие шумогенерации в средне- и высокочастотном диапазонах в данных зонах
- часть откликов на спектре шумов в средне- и высокочастотном диапазонах, регистрируемых в зоне притока газа из естественных трещин, может быть связана с шумами в трещине из-за формирования в ней турбулентного потока

Работа выполнена в Московском исследовательском центре Шлюмберже.

Литература

1. Ипатов А.И., Кременецкий М.И., Геофизический и гидродинамический контроль разработки месторождений углеводородов. – М.: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика»; Институт компьютерных исследований, 2006.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: Учеб. пособ.: Для вузов. В 10 т. Т. VI. Гидродинамика. — 5-е изд., стереот.-М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001.-736 с.-ISBN N 5-9221-0121-8 (Т. VI).
3. Ромм Е. С. Структурные модели порового пространства горных пород. – Л.: Недра, 1985. – 240 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ КОНТРОЛЯ ИЗМЕНЕНИЙ ЧАСТОТ ПЕРВЫХ МОД СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ МГУ ЗА 10 ЛЕТ

Милосердов И. М.

МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

E-mail: miloserdov.im18@physics.msu.ru

Работа нацелена на анализ данных полученных с датчиков, регистрирующих колебания отдельных частей главного здания МГУ. Данные записывались на протяжении многих лет, это дает возможность оценить временные изменения некоторых характеристик здания, таких как собственные частоты, и амплитуда колебаний.

Полученные результаты могут помочь выявить нелинейность колебаний, что будет говорить о конструкционных изменениях в некоторых частях здания. Помимо этого, анализ длительного промежутка времени в теории позволит выявить зависимость колебаний здания от воздействий источников разной природы, например, антропогенных (автомобильный трафик и движения людей в дневное время) и природных (ветер, землетрясения).

Цели:

- Выявление изменений параметров колебаний здания со временем.
- Интерпретация и анализ полученных результатов.
- Обнаружение конструкционных изменений.
- Исследование влияния источников колебаний разной природы.

Методы

- Спектральный анализ
- Язык программирования Java 1.8
- Графическое представление результатов в OriginPro 2019b

ПАРАМЕТРЫ ОЧАГОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ОБРАЗЦАХ ГОРНЫХ ПОРОД

Хамидуллин А.

МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

E-mail: khamidullin.ak18@physics.msu.ru

Для изучения параметров очагов акустической эмиссии выполняется анализ спектров акустической эмиссии. Используются данные лабораторных экспериментов, проведенные с помощью пресса, спектрометра INNOVA в лаборатории Борок ИФЗ РАН. При расчёте спектральных характеристик используется результат калибровки для набора экспериментов образцов песчаника и гранита, учет их АЧХ. Применение модели Брюна к «чистым» очаговым спектрам позволило рассчитать значения результатов корнер частот, сейсмических моментов и выявить статистическую зависимость между ними для образцов различных пород, для разных фаз и стадий эксперимента. Полученные результаты могут быть спроецированы для моделирования реальных сейсмических процессов (сдвиг, разрыв, подвижка). Их дальнейший анализ может быть использован в нефтегазовой, строительной сферах, для оценки сейсмической опасности.

Цели:

- Оценка характеристик и параметров очаговых спектров
- Выявление зависимости между параметрами очаговых спектров и состояния образца.
- Интерпретация и анализ полученных результатов.

Методы:

- Спектральный и регрессионный анализ
- Калибровка
- Пьезокристаллический эффект
- Оценка точности, статистическая оценка

СТАДИЙНОСТЬ ПРОЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

Петрушов А.А.

МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

E-mail: petrushov.aal8@physics.msu.ru

Одна из актуальных моделей подготовки землетрясений — модель лавинно-неустойчивого трещинообразования (ЛНТ). Согласно модели процесс нарушения сплошности пород перед землетрясением можно разбить на несколько стадий с характерной скоростью образования трещин и скоростью деформаций [1, 2]. На основе модели ЛНТ построены методы оценки сейсмической опасности, среди которых алгоритмы *b*-value, RTL и КСР. Эти алгоритмы строят целевые функции, которые проявляют аномальное поведение перед сильными землетрясениями [3].

В настоящей работе исследуется стадийность проявления аномалий сейсмического режима перед землетрясениями энергетического класса $K_s \geq 14$ по трём алгоритмам оценки сейсмической опасности: *b*-value, RTL и КСР. На примере Камчатки (основной источник сейсмичности - зоны субдукции) получены первичные результаты, показывающие наличие стадийности - определённого порядка возникновения аномалий перед сильными сейсмическими событиями. В ближайшее время планируется более точная настройка алгоритмов и исследование очередности проявления аномалий для сейсмо-активных регионов с разной природой сейсмичности.

Литература

1. Среднесрочный прогноз землетрясений. Основы. Методика. Реализация. А.Д.,
2. Завьялов. Москва: Наука, 2006. 254 с.
3. Основы прогноза землетрясений. Соболев Г.А. Москва: Наука, 1993. 313 с.
4. Чебров В.Н., Салтыков В.А., Серафимова Ю.К. Прогнозирование землетрясений на Камчатке. Москва: Светоч Плюс, 2011. 303 с.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ВЕЛИЧИНЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОМЕНТА

Козлова А. А.

МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

В данной работе проверяется предположение академика М. А. Садовского о существовании преимущественных размеров блоков земной коры и их постоянном отношении, приблизительно равном 3. Так как размер блока связан с силой землетрясения, на графике повторяемости должны наблюдаться пики, соответствующие преимущественным размерам блоков. Цель данной работы – на основании данных каталога за 1981-2019 года проверить существование этих пиков и их периодичность во всем каталоге и в отдельных сейсмических зонах.

ВЛИЯНИЕ ЗАКАЧКИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ПЛАСТ НА ОБЪЕМ ДОБЫВАЕМОЙ НЕФТИ

Ильченко И.С.

МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

E-mail: ivan.ilchen2002@gmail.com

За последние десятилетия были предложены целые комплексы методов увеличения нефтеотдачи (МУН) месторождений, сочетающие в себе преимущества различных ти-

пов воздействия на пласт (тепловое воздействие, закачка газа, химическое воздействие и др.). Некоторые из МУН были опробованы и широко используется в отрасли, а какие-то только набирают популярность. Так, закачка углекислого газа в пласт может стать перспективным МУН.

CO₂-МУН имеет все шансы стать востребованным методом [1]. Проекты, связанные с закачкой углекислого газа, могут быть привлекательны сразу с нескольких сторон: экономической – при определенных условиях использование CO₂ является коммерчески выгодным; социально-политической – все большее количество стран берет курс на экологичность и сокращение выбросов углекислого газа [2].

МУН-проекты в России имеют широкую область применимости и перспективы. Многие месторождения находятся на поздней стадии выработки, разработка новых сталкивается с труднодоступностью регионов залегания объектов разработки.

В данной работе изучается влияние закачки диоксида углерода в пласт на накопленную добычу нефти из скважины. Для решения поставленной задачи рассматривается простейшая математическая модель квазиодномерного пласта. Рассматривается течение к добывающей скважине сжимаемой нефти, содержащей растворенный CO₂. Основные физические параметры пласта и нефти соответствуют Арланскому месторождению [3]. В серии численных экспериментов изучается влияние концентрации CO₂ в нефти на накопленную добычу нефти из скважины.

Полученные данные могут способствовать повышению интереса к проектам CO₂-МУН.

Литература

1. Перспективы развития третичных МУН в мире и в России / Грушевенко Екатерина - Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО, 2021.
2. Геологическое хранение CO₂ в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии: первичный анализ потенциала и политики - UNITED NATIONS GENEVA, 2021.
3. ФИЗИКА НЕФТЯНОГО И ГАЗОВОГО ПЛАСТА / Гиматулинов Ш.К. - 2-е изд., доп. - Москва: Изд-во "НЕДРА", 1971.

КРИТЕРИЙ БЕСКОНЕЧНОЙ ГАММА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В МОДЕЛИ ДВАЕРА

Седельников А.С.^{1,2}, Землянская Д.И.^{1,3}, Стадничук Е.М.^{1,4}

¹МФТИ (НИУ), ²Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, ³ИЯИ РАН,

⁴НИУ ВШЭ, Москва, Россия

E-mail: sedelnikov.as@phystech.edu

Одной из важнейших задач в атмосферной физике высоких энергий является построение модели гамма вспышек земного происхождения (Terrestrial Gamma-ray Flashes, TGF). Установлено, что лавины убегающих электронов, ускоряемые электрическим полем в грозовых облаках, являются источниками этих вспышек [1]. Однако, электронов, образующихся в лавинном процессе, оказывается недостаточно для описания TGF, экспериментально наблюдаемых из космоса. Джозефом Дваером была предложена модель обратной связи, увеличивающая число частиц в лавинах [2]. Одним из ключевых механизмов в модели Дваера является гамма обратная связь, вклад которой увеличивается с ростом напряжённости электрического поля [3]. В основе гамма обратной связи лежит явление разворота фотонов тормозного излучения, образующегося при ускорении электронов в поле облака. Эти фотоны могут рождать новые электроны в начале области образования лавины, что приводит к образованию вторичных лавин.

В данной работе был выведен критерий образования бесконечной обратной связи за счёт разворота тормозных гамма квантов. Рассмотрим ячейку длины с постоянным и

однородным электрическим полем. Пусть λ_x – длина экспоненциального нарастания лавины; λ_{γ} – длина пробега убегающего электрона до рождения гаммы; λ_{RREA} – длина пробега гаммы до рождения убегающего электрона; $\lambda_{\gamma \rightarrow e}$ – длина ослабления пучка гамма квантов; P_e – вероятность разворота гаммы; P_{γ} – вероятность разворота электрона. Эти параметры зависят от электрического поля и плотности воздуха. Тогда полученный критерий обратной связи выражается неравенством:

$$\frac{P_e P_{\gamma}}{\lambda_{\gamma \rightarrow e} \lambda_{\gamma}} \left(\frac{\lambda_{RREA} \lambda_x}{\lambda_x - \lambda_{RREA}} \right)^2 \left(e^{\frac{L(\lambda_x - \lambda_{RREA})}{\lambda_x \lambda_{RREA}}} - 1 - \frac{L(\lambda_x - \lambda_{RREA})}{\lambda_x \lambda_{RREA}} \right) > 1$$

Полученное соотношение может быть использовано при дальнейшем изучении вклада бесконечной гамма обратной связи в динамику электронных лавин.

Литература

1. Dwyer J.R. [et al.] A study of X-ray emission from laboratory sparks in air at atmospheric pressure //Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2008. – Т. 113. – №. D23.
2. Dwyer J.R. A fundamental limit on electric fields in air //Geophysical Research Letters. – 2003. – Т. 30. – №. 20.
3. Бабич Л.П. Лавина релятивистских убегающих электронов //Успехи физических наук. – 2020. – Т. 190. – №. 12. – С. 1261-1292.

ПРОЯВЛЕНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ВОЛН В ГЕОМАГНИТНОГО ВАРИАЦИЯХ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ НА ОБСЕРВАТОРИИ "БЕЛЬСК"

Рябова С.А.

*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия,
Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской
академии наук, Москва, Россия
E-mail: ryabovasva@mail.ru*

Геомагнитные вариации, наблюдаемые на земной поверхности, регистрируются в достаточно широком диапазоне периодов: от вековых вариаций до вариаций длительностью несколько минут – доли секунд [1]. Динамика геомагнитного поля определяется влиянием на него различных процессов, в том числе и атмосферных волн [2,3].

Поскольку часто разделение источников во временных вариациях невозможно, то применяется спектральный анализ для выделения процессов, характеризующихся разными периодами.

В ходе настоящих исследований проводится анализ спектров временных вариаций геомагнитного поля, зарегистрированных на Центральной геофизической обсерватории «Бельск» Геофизического института Польской академии наук (Польша, г. Бельск).

Регистрация вариаций трех компонент геомагнитного поля на обсерватории «Бельск» выполняется с помощью торсионного кварцевого вариометра системы В.Н. Боброва. Данные регистрации компонент геомагнитного поля на обсерватории «Бельск» размещены на сайте Международной сети INTERMAGNET.

Для достижения цели настоящей работы используется спектральный анализ на основе построения авторегрессионной модели с решением уравнений Юла-Уокера методом Левинсона-Дурбина [4,5].

Экспериментальные исследования выполнены в рамках государственного задания ИДГ РАН № 1021052706233-4-1.5.4 «Проявление процессов природного и техногенного происхождения в геофизических полях» (FMWN-2022-0012), интерпретация результатов выполнена в рамках государственного задания ИФЗ РАН.

Литература

1. Адушкин В.В., Рябова С.А., Спивак А.А. Геомагнитные эффекты природных и техногенных процессов. М.: ГЕОС, 2021. 264 с.
2. Рябова С.А., Спивак А.А. Геомагнитные вариации в приземной зоне Земли. М.: Графитекс. 2019. 150 с.
3. Riabova S. Features of geomagnetic field variations mid-latitude observatories in range of period and half-period of Carrington // 20th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development "Geomodel 2018". <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=94171>.
4. Александров В.А. Преобразование Фурье. Учебное пособие. Новосибирск: НГУ, 2002. 62 с.
5. Марпл-младший С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир. 1990. 265 с.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ ПО ДАННЫМ КАТАЛОГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КИТАЯ

Гао Фэнкай

МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

E-mail: gao.fl9@physics.msu.ru

Китай является сейсмоопасной страной, и в Китае важность прогноза землетрясений неоспорима. Мы проанализировали каталог Китая с позиций модели лавинно-неустойчивого трещинообразования (ЛНТ), которая широко используется в России, используя методы выделения аномалий сейсмического режима *RTL*, *b-value*, *Kcp*. Мы делали ретроспективный прогноз землетрясений для 5 сильных землетрясений с $M_S \geq 7$ (табл. 1).

Исследования показывают, что аномалии перед землетрясениями проявляются последовательно: $Kcp \rightarrow b\text{-value} \rightarrow RTL$, что полностью соответствует процессу развития землетрясений в модели ЛНТ. Среднее время предвестников землетрясений: *RTL* – 2,13 года, *b*-значение – 3,45 лет, *Kcp* – 16,75 лет, отсюда можно сделать вывод, что эти среднесрочные предвестники нельзя использовать для краткосрочного прогноза времени землетрясения.

Табл. 1. Список рассмотренных землетрясений

Data	Depth	Latitude	Longitude	Magnitude
2008/3/20	0	35.80000	81.4300	7.400000
2008/5/12	14	31.00000	103.4000	8.000000
2013/4/20	13	30.30000	103.0000	7.150000
2017/8/8	10	33.20000	103.8200	7.200000
2017/11/17	10	29.75000	95.0000	7.100000

Литература

1. Смирнов В.Б. Прогностические аномалии сейсмического режима. I. Методологические основы подготовки исходных данных// Геофизические исследования. 2009. Т. 10. №2. С. 7-22.
2. Соболев Г.А., Завьялов А.Д. О концентрационном критерии сейсмогенных разрывов// Доклады АН СССР. 1980. Т. 252. №1. С. 69-71.
3. Мячкин В.И., Костров Б.В., Соболев Г.А., Шамина О.Г. Основы физики очага и предвестники землетрясений// Физика очага землетрясения. Москва: Наука, 1975 г. С. 6-29.
4. Gutenberg B, Richter C F. Seismicity of the Earth and Associated Phenomena [M]. 2nd ed. Princeton N J Princeton Univ Pr, 1954. 1~310.
5. Sobolev, G. A. and Y. S. Tyupkin, Precursory phases, seismicity precursors, and earthquake prediction in Kamchatka, Volcanol. Seismol., 1999.20, 615–627.
6. Smith W D. The *b-value* as an earthquake precursor [J]. Nature, 1981.289: 136-139.

ЧАСТОТНО-ЗАВИСИМОЕ ЗАТУХАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Сахаров П.С.

МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

E-mail: sakharovp@mail.ru

Считается, что гранулированные породы, такие как песчаники, содержат очень упругие поры в областях контакта между соседними зернами и гораздо более крупные и более жесткие межзерновые поры. Проходящая сейсмическая волна создает градиенты давления в фазе флюида, и результирующее движение флюида относительно твердой фазы сопровождается внутренним трением до тех пор, пока поровое давление не будет уравновешено, что приводит к рассеянию энергии сейсмической волны [3]. Этот механизм потока флюида локального или пористого масштаба обычно считается важным на ультразвуковых частотах, но может также играть роль в сейсмических и каротажных частотах [3, 4].

На моделях случайно-трещиноватых сред показано [1, 2], что волны ультразвукового импульса уменьшается при увеличении длины трещины вплоть до размеров, равных длине волны. Для высокочастотной части спектра трещина (ансамбль трещин) представляет собой крупномасштабную неоднородность, и эта часть спектра рассеивается. Для низкочастотной части спектра эта же трещина (ансамбль трещин) представляет собой мелкомасштабную неоднородность и является причиной изотропного рассеивания.

Однако, на сегодняшний момент не было получено явных зависимостей затухания энергии волны от частоты. Ряд учёных смогли лишь качественно аппроксимировать функцию затухания от частоты для различных моделей.

В этой работе на основе экспериментальных данных оценивается частотная зависимость уменьшения энергии упругих волн при изменении характеристик среды, в которых они распространяются.

Литература

1. Виноградов С. Д., Соловьева М. С. Параметры упругих волн, распространяющихся в нагруженной трещиноватой среде // Физика Земли. 1999. № 4. С. 68-74.
2. Стрижков С. А. Исследование характера частотных изменений Р-волны на моделях случайно-трещиноватых сред // Физика Земли. 1981. № 5. С. 92–96.
3. Müller, T. M., B. Gurevich, and M. Lebedev, Seismic wave attenuation and dispersion resulting from wave-induced flow in porous rocks — A review // Geophysics, 75, 2010. P. 147-164.
4. Pride, S. R., J. G. Berryman, and J. M. Harris, Seismic attenuation due to wave induced flow // Journal of Geophysical Research, 109, no. B1, 2004, B01201.

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ И ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ОКРЕСТНОСТИ ПЕРФОРАЦИОННОГО ОТВЕРСТИЯ В СКВАЖИНАХ, ПРОБУРЕННЫХ В НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ ПОРОДАХ-КОЛЛЕКТОРАХ

Шевцов Н.И. Барков С.О.

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия

E-mail: red3991@yandex.ru

Основными задачами геомеханики и прикладной геологии в нефтегазовой промышленности по-прежнему являются обнаружение месторождений, определение запасов полезных ископаемых, проектирование систем разработки месторождений, проек-

тирование профиля горизонтальных и наклонно-направленных скважин, а также моделирование различных мероприятий, направленных на повышение нефтеотдачи пластов (ПНП) и увеличения полноты выработки месторождений. Последние из указанных задач на сегодняшний день становятся все более актуальными ввиду постоянного истощения легкоизвлекаемых запасов и начала активной разработки трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ) углеводородов. Разработка месторождений с низкопроницаемыми коллекторами является достаточно сложным процессом не только в техническом, но и экологическом аспекте.

Для повышения проницаемости продуктивного пласта в ИПМех РАН был разработан экологичный, эффективный и экономически выгодный метод направленной разгрузки пласта (НРП). Идея данного подхода заключается в понижении давления на забое скважины, что вызывает в ее окрестности возникновение напряжений, которые приводят к образованию системы микро- и макротрещин, тем самым увеличивая проницаемость породы [1]. Другим вариантом реализации данного метода является создание на забое скважины системы перфорационных отверстий, в окрестности которых значительно возрастают напряжения, что облегчает процесс трещинообразования в породе, делает его более интенсивным и, соответственно, приводит к дополнительному увеличению проницаемости продуктивного пласта. При этом все необходимые для конкретных месторождений значения напряжений определяются путем прямого физического моделирования на образцах породы при помощи Испытательной системы трехосного независимого нагружения ИСТНН [2].

В данной работе была проведена серия экспериментов по физическому моделированию механических и фильтрационных процессов в продуктивных пластах астраханского газоконденсатного месторождения (ГКМ) при реализации метода направленной разгрузки пласта, реализованного с помощью создания перфорационных отверстий на стенке скважины. Нагружение образцов выполнялось по программе, отвечающей изменению напряжений в окрестности перфорационного отверстия в необсаженной скважине [3]. Экспериментальные образцы представляли собой сильно сцементированные песчаники с нулевой начальной проницаемостью, извлеченные из Астраханского ГКМ с интервала глубин 3780-3790 метров.

В ходе серии экспериментов было проведено моделирование поведения породы на контуре необсаженной скважины и контуре перфорационного отверстия: на расстоянии в 1,25 радиуса перфорационного отверстия и 2 радиуса, а также на кончике перфорационного отверстия (поверхность сферы). На рисунке 1 и рисунке 2 приведены графики изменения напряжения и проницаемости от времени, а также кривые деформирования для образцов А-2 и А-4.1, на которых были смоделированы точки на контуре перфорационного отверстия, отстоящие от оси скважины на расстояние 1,25 ее радиуса. Результатом этих опытов является разрушение экспериментальных образцов с лавинообразным ростом проницаемости, что позволяет судить о возможности успешного применения метода ГРП на исследованной скважине Астраханского ГКМ.

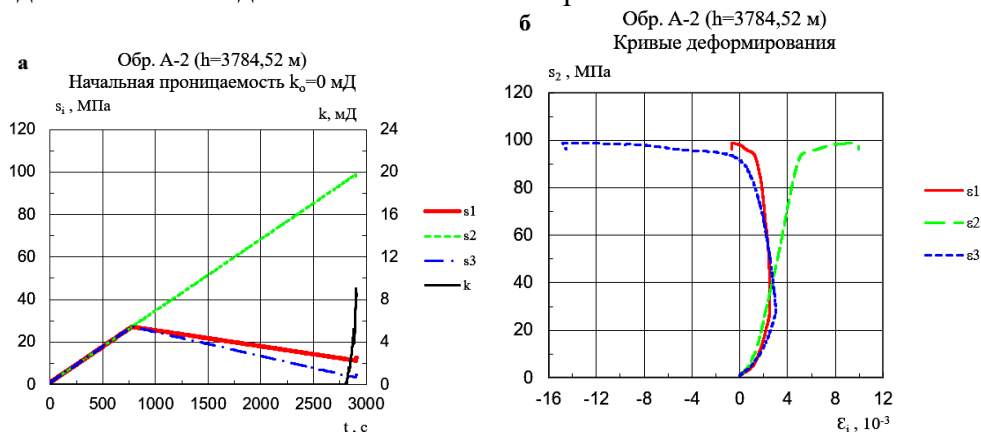


Рис. 1: а — Программа нагружения и кривая проницаемости образца А-2, б — кривые деформирования образца А-2.

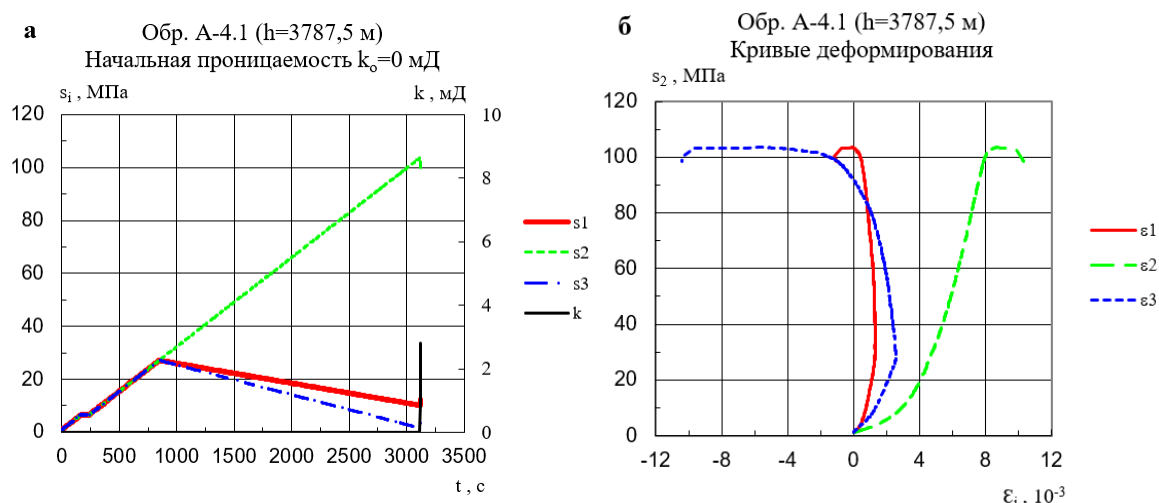


Рис. 2: *а* — Программа нагружения и кривая проницаемости образца А-4.1, *б* — кривые деформирования образца А-4.1.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Российской Федерации в лице Министерства науки и высшего образования РФ № 13.1902.21.0018 (соглашение 075-15-2020-802).

Литература

1. Коваленко Ю.Ф., Карев В.И. Метод георыхления – новый подход к проблеме повышения продуктивности скважин // Технологии ТЭК. 2003. № 1. С. 31–35.
2. Karev V.I., Kovalenko Yu.F.. Triaxial loading system as a tool for solving geotechnical problems of oil and gas production. В сборнике: True Triaxial Testing of Rocks Ser. "Geomechanics Research Series" Leiden, 2013. С. 301-310.
3. Karev V. I., Klimov D. M., Kovalenko Yu. F. Modeling // Phys. and Math. Modeling of Earth and Environment Proc. Springer, 2018. pp. 336–350.

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БУДУЩЕГО

Скворцов Р.Е.¹, Ершова Е.С.²

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: j7offff@gmail.com

Нефтедобывающая отрасль является ведущей для нашей страны с точки зрения доходов. Оптимизация данной отрасли позволит значительно повысить показатели ВВП и ВВП страны.

Предлагаемая нами концепция нефтяников нового поколения увеличит рабочий потенциал и автоматизацию производственных процессов в местах разработки месторождений, что позволит уменьшить затраты на выплаты заработных плат [1].

За счёт повышения квалификации и обучения специалистов по новой методике позволит достичь роста экономической эффективности на 47% по сравнению с показателями текущего периода времени. Например, была создана программа ступенчатого развития сотрудников, позволяющая постепенно повышать нагрузку и увеличивать производительность.

При анализе состояния месторождений учитывались экологические, гидротерологические, геологические, экономические факторы, а также принимались во внимание особые свойства нефти: ее высокая вязкость и газовый фактор [2-3].

Был предложен вариант транспортировки продукта, который предполагает строительство хранилища.

При создании концепции месторождения будущего нами предложены инновационные технологические процессы при бурении и нагнетании, также предложено конкретное оборудование.

Литература

1. Коржубаев А.Г. Перспективы добычи нефти и газа в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке России. 2005. № 6. С.46-60.
2. Богоявленский В.И. Перспективы и проблемы освоения месторождений нефти и газа шельфа Арктики. 2012. № 11. С.4-9.
3. Богоявленский В. И., Лаверов Н. П. Стратегия освоения морских месторождений нефти и газа Арктики // Морской сборник. № 6. М., 2012. С.50-58.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННОЙ АКУСТИКОЭМИССИОННОЙ АКТИВНОСТИ

Индаков Г.С.

МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

E-mail: indakov.gs16@physics.msu.ru

Одной из актуальных проблем физики Земли на сегодняшний день является изучение вулканической сейсмичности. Она тесно связана с процессами трещинообразования, вызываемыми происходящими под вулканами движениями магмы. Для лучшего понимания этих процессов активно проводятся полевые и модельно-лабораторные исследования [1-3]. Целью данной работы [4] является сравнительный анализ особенностей процесса термически стимулированного разрушения горных пород разного происхождения на основе статистики импульсов термостимулированной акустической эмиссии в лабораторных экспериментах с образцами магматических пород интрузивного (граниты) и эффузивного (базальты) классов. Рассмотрены такие статистические параметры, как активность акустической эмиссии и параметры графика повторяемости для анализа развития разрушения в целом, а также интенсивность энерговыделения для выявления локальных этапов разрушения.

Было проанализировано несколько экспериментов по нагреву. Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1. Исследуемый образец представляет собой цилиндрический фрагмент породы высотой 6 см с диаметром основания 3 см. Исследовались образцы базальтов и гранитов. Базальты характерны для вулканических построек, а граниты – для сейсмогенерирующих зон, поэтому эксперименты с образцами этих пород представляют наибольший интерес.

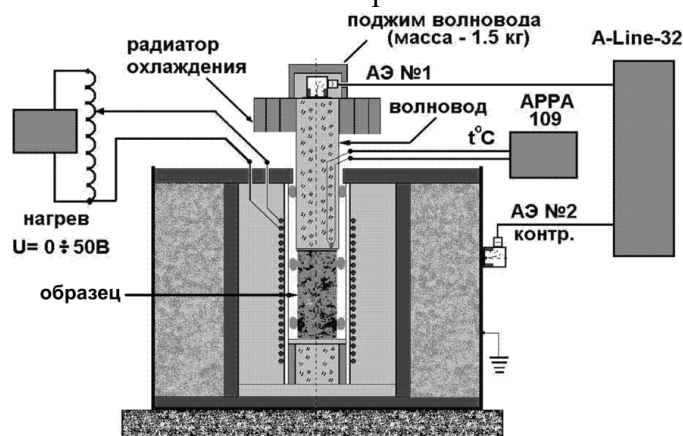


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

В проведенных экспериментах по аналогии с законом Гутенберга-Рихтера зависимость логарифма числа событий в образце N от амплитуды импульса A (дБ) аппроксимируется линейной формулой [2]:

$$\log_{10} N = a - bA \quad (1)$$

Параметр b – наклон графика повторяемости, называемый также b -value.

В работе была реализована и отработана методика оценки активности акустической эмиссии, b -value и интенсивности энерговыделения $\sim \Sigma E^a$, где E – энергия события [5]. Эксперименты были систематизированы по типу активности для возможности сравнения результатов. Анализ локальных этапов эксперимента выявил наличие эпизодов активизации процессов разрушения. Параметр b был пересчитан для сопоставления с натурными данными. Для объяснения выявленных закономерностей изменения b -value предложена интерпретация результатов в рамках модели лавинно-неустойчивого трещинообразования (ЛНТ) [6].

Литература

1. П.А. Казначеев, З.-Ю.Я. Майбук, А.В. Пономарев, В.Б. Смирнов, Н.Б. Бондаренко, Лабораторное исследование термостимулированных разрушений горных пород.
2. П.А. Казначеев, З.-Ю.Я. Майбук, А.В. Пономарев, В.Б. Смирнов, Н.Б. Бондаренко, К вопросу об анализе статистики событий акустической эмиссии по данным одиночного датчика в экспериментах с термическим разрушением горных пород // Геофизические исследования, 2019, том 20, № 1, с.52-64.
3. П.А. Казначеев, З.-Ю.Я. Майбук, А.В. Пономарев, Оборудование и методика исследования термоакустоэмиссионных эффектов памяти в горных породах // Сейсмические приборы. 2019. Т. 55, № 1. С.29–45.
4. Г.С. Индаков, П.А. Казначеев, Оценка статистических параметров потока импульсов термически стимулированной акустической эмиссии в лабораторных экспериментах // Учен. зап. физ. фак-та Моск. ун-та. 2021. № 1. 2110501
5. В.Б. Смирнов, А.Д. Завьялов, К вопросу о сейсмическом отклике на электромагнитное зондирование литосферы Земли // Физика Земли. 2012. № 7–8. С. 63–88.
6. Г.А. Соболев, Модель лавинно-неустойчивого трещинообразования – ЛНТ // Физика Земли. 2019. № 1. С. 166–179.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И ФИЛЬТРАЦИИ В ТРУДНО ИЗВЛЕКАЕМЫХ ПОРОДАХ-КОЛЛЕКТОРАХ АЧИМОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА НАПРАВЛЕННОЙ РАЗГРУЗКИ ПЛАСТА

Химуля В.В.

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия

E-mail: khim@ipmnet.ru

Изучение физических свойств пород, особенно реологических и фильтрационных характеристик, необходимо как для выбора оптимального режима эксплуатации нефтегазовых месторождений, так и для определения условий устойчивости ствола скважины. Основное влияние на величину притока оказывает состояние призабойной зоны скважины. Снижение проницаемости даже в небольшой окрестности скважины может существенно снизить ее продуктивность [1]. Проницаемость призабойной зоны может ухудшаться как при бурении скважины, так и при изменении ее напряженно-деформированного состояния в процессе проведения технологических операций [2].

Одним из наиболее перспективных способов воздействия на пласт является метод направленной разгрузки пласта (НРП), разработанный в ИПМех РАН [3]. Он основан на создании искусственной системы трещин в призабойной зоне за счет направленной

разгрузки породы вблизи скважины от горного давления. Этот метод эффективен, экономичен и экологически безопасен. Управлять напряженным состоянием в окрестности скважины возможно двумя способами: снижением забойного давления или изменением геометрии забоя. Параметры применения метода определяются по результатам физического моделирования на образцах горных пород реальных напряжений, возникающих в окрестности скважин, с помощью Испытательного стенда трехосного независимого нагружения (ИСТНН) [3, 4]. ИСТНН – созданный в ИПМех РАН аппарат истинно трехосного нагружения, позволяющий нагружать кубические образцы горных пород независимо по каждой из трех осей, а также вести непрерывное измерение проницаемости в ходе опыта.

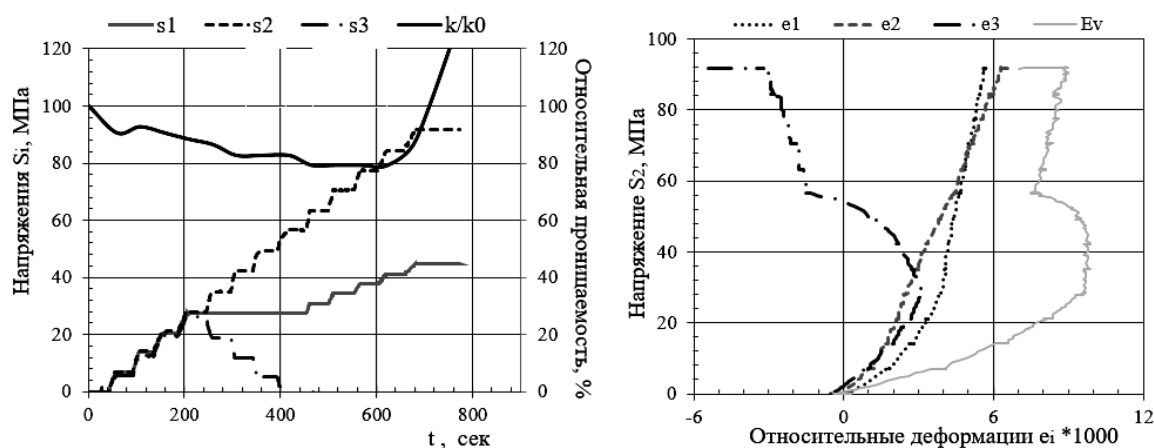


Рис. 1. Программа нагружения и кривая изменения проницаемости в ходе моделирования на одном из образцов (а), кривые деформирования (б).

В данной работе представлены результаты серии экспериментов по изучению процессов деформирования, фильтрации и разрушения в низкопроницаемых породах ачимовских отложений Уренгойского ГКМ при моделировании реализации метода направленной разгрузки пласта. По результатам испытаний были установлены деформационные, прочностные и фильтрационные характеристики пород, их зависимости от напряжений и времени при сложном трехосном нагружении. Результаты испытаний одного из образцов представлены на рис. 1: программа нагружения образца по каждой из осей и кривая изменения проницаемости (а) и кривые деформирования (б). Кривая проницаемости на рис. 1а указывает, что при создании определенного вида и уровня напряженно-деформированного состояния в образце, соответствующего некоторой величине депрессии в скважине, происходит резкое увеличение проницаемости породы.

Проведен анализ изменения проницаемости горных пород в ходе деформаций ползучести, определена их корреляционная зависимость. Сделаны выводы об оптимальном режиме эксплуатации скважин с целью недопущения негативных процессов в призабойной зоне. Установлены закономерности изменения фильтрационных характеристик исследуемых пород в ходе моделирования реализации метода НРП. Определены технологические параметры и операции, необходимые для повышения проницаемости пород-коллекторов в призабойной зоне с помощью метода направленной разгрузки пласта.

Работа выполнена по теме государственного задания (№ госрегистрации AAAA-A20-120011690133-1).

Литература

1. Boronin, S. A., Tolmacheva, K. I., Osipov, A. A., et al. Modelling of Injection Well Capacity with Account for Permeability Damage in the Near-Wellbore Zone for Oil Fields in Western Siberia.// SPE Russian Petroleum Technology Conference, Moscow, Russia, October 2017.

2. Song Y., Li Z., Jiang L., Hong F. The concept and the accumulation characteristics of unconventional hydrocarbon resource // *Petroleum Science*. 2015. V12. P. 563–572. DOI: 10.1007/s12182-015-0060-7.
3. Karev V.I., Kovalenko Y.F., Ustinov K.B. *Geomechanics of Oil and Gas Wells. Advances in Oil and Gas Exploration and Production*. Springer International Publishing Cham: Switzerland, 2020. 166 p.
4. Karev V., Kovalenko Yu. Triaxial loading system as a tool for solving problems of oil and gas production // *The 12th International Congress on Rock Mechanics*. 2011.