УДК 622.274

СОСТОЯНИЕ РАЙОНОВ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ И ГАЗА ПОСЛЕ ОТРАБОТКИ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ И СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИХ МОНИТОРИНГА

Бейсембаев К. М., Шманов М. Н., Ахметова Ж. Т., Мажитова Д. С.

Карагандинский государственный технический университет, Республика Казахстан (100000 г. Караганда, Бульвар Мира, 56, zhanar_1988@inbox.ru)

В статье рассматриваются вопросы разработки нефтегазовых месторождений, которые, при отсутствии постоянного мониторинга добычи и состояния среды, могут инициировать проседания, сдвижения и землетрясения прилежащей территории. Описаны характерные примеры сдвижения и существующие методы и аппараты мониторинга для предотвращения аномальных явлений, а также аналитическая картина состояния пластов при добыче. Расчеты системы мониторинга проводятся на базе блока математических моделей интенсификации текущего состояния среды. Представлена картина распределения вертикальных напряжений в зоне добывающей нефтегазовой скважины при разработке двух продуктивных пластов. Решение проблемы управляемой, интенсивной и безопасной добычи может быть при постоянном планомерном и строгом мониторинге среды современными материалами.

Ключевые слова: разработки, проседания, сдвиги, мониторинг, добыча.

PECULIARITIES OF CONDITIONS AND EXTRACTIONS OF OIL AND GAZ TAKE INFO ACCOUNT GEOMECHANICS OF STRATUMS

Beysembaev K. M., Shmanov M. N., Akhmetova Zh. T., Mazhitova D. S.

Karaganda State Technical University, Kazakhstan (100000, Karaganda, Boulevard of Peace, 56, zhanar_1988@inbox.ru)

The article examines the questions of development of oil and gas fields, which with an absence of regular monitoring of production and environmental condition are able to initiate the subsidence, drifting or earthquake of adjacent territories. We describe character drifting examples and the existing methods and equipment for monitoring of prevention anomalous phenomenon, as well as analytical pattern of the condition of ledges while recovery process. Calculation of monitoring system based on mathematical models of power intensification of the current state of the environment. Represented the picture of distribution of vertical stresses in the area of oil and gas production wells in the development of two productive ledges. The Problem of controlled, intensive and safe production can be solved with the constant systematic and strict monitoring of the environment by using modern materials.

Key words: exploitation, cuzviring, displacements, monitoring, extracting.

Отбор нефти и газа из недр, а также нагнетание в них других реагентов развивают гидродинамические, геодинамические и сейсмические процессы. Показательные примеры таких явлений:

- просадка дневной поверхности над нефтеносным полем в Калифорнии, из-за чего пришлось нарастить высоту дамбы военно-морской базы Лонг-Бич. Стоимость мероприятий в 70 – 80 гг. прошлого столетия – 6.0 млн долларов;
- оседание поверхности земли на площадке Саур-Лейк (Техас, США) глубиной до 12 м.

Просадки, связанные с разработкой нефти, приурочены к месторождению Экофиск и Валхаля в Северном море, где за 30 лет добычи произошло проседание морского дна на 7 м, вследствие чего уложенные трубопроводы были деформированы. Причина погружения дна заключилась и в том, что происходила разгрузка пород, находящихся под давлением флюи-

дов выше гидростатического. Затраты по наращиванию платформ и ремонт трубопроводов превысили 400 млн долларов. Аналогичная ситуация возможна на казахстанском месторождении Кашаган на Каспии. Освоение ресурсов этого месторождения (2018 – 2019 гг.) может вывести Казахстан в пятёрку крупнейших нефтяных держав. Однако последствия возможной аварии могут быть глобальными.

Сейсмические явления вызываются и периодическими изменениями гидродинамического давления при циркуляции бурового раствора или принудительной закачкой воды и газа в пласты (до 80 % месторождений в настоящее время разрабатывается с использованием таких процессов). В качестве примеров можно привести землетрясения на Кумдагском месторождении в Туркменистане, в Нефтеюганске, на Старогрозненском месторождении, в Нефтегорске (о. Сахалин) и др. В районе казахстанского месторождения Тенгиз (в разработке с начала 80-х гг. прошлого столетия), которое до настоящего времени характеризовалась относительно слабой техногенной сейсмичностью, 21 февраля 2011 г. произошло землетрясение магнитудой 4,1–4,3 балла. Недавнее землетрясение в Турции у озера Ван также произошло в районе нефтеразработок на юго-востоке самой Турции и на севере Ирака, примыкающего к этому району Турции.

Таким образом, для предотвращения возможных аварий необходимо принимать адекватные меры, в число которых входит геодинамическое сопровождение, выражающееся в проведении наземных, аналитических и космических мониторинговых наблюдений (как отдельно, так и в комплексе) напряженно-деформированного состояния (НДС) массива.

Наземные методы мониторинга (специальные сети сейсмических станций, нивелировка, каротаж, акустическое сканирование) позволяют предсказать величины и направления пластовых напряжений. В частности, сканирование на месторождении Уомсаттер (США, Вайоминг) позволило получить более качественную картину реакции продуктивного пласта на добычу и закачку. В последнее время особую ценность приобретают данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), при наложении двух изображений местности, полученных из близких точек орбиты в разные периоды времени. По снимкам площади месторождения Заполярное, проведенных ООО «ВНИИГаз» со спутника ENVISTAT, построена карта вертикальных смещений поверхности. С картой были совмещены ранее полученные данные районирования геокриологических (мерзлотогрунтовых) процессов, изолинии оседания прогнозных мульд (синклиналей) сдвижения пород и инфраструктура месторождения, что позволило получить данные смещения земной поверхности за год разработок.

Аналитические исследования в виде математического моделирования были выполнены применительно к Штокмановскому газо- и газоконденсатному месторождению близ Но-

вой Земли. В результате установлены закономерности проседания морского дна. Дан предварительный прогноз проседания в 3 – 5 м при условии непрерывной 10-летней разработки.

Таким образом, для учёта совместного влияния перечисленных факторов, точной настройки значений депрессии пласта, дебитов при наиболее распространённой скважинной фонтанной, механизированной добыче необходимы постоянный мониторинг процессов добычи и модели состояния массива недр.

Рассмотрим пример разработки нефтегазовой залежи под дном водоёма, где располагаются добычные, нагнетательные скважины и контур питания. В результате откачки нефти, неравномерного заводнения часть продуктивного пласта проседает, рисунки 1 и 2. При этом в нём происходят процессы уплотнения – разуплотнения структуры и, в зависимости от состояния пласта, изменяются пористость, проницаемость, насыщенность пород [1-3]. Их можно характеризовать матрицей параметров состояния массива из модуля деформации пород E (скачкообразно изменяется в сторону уменьшения в направлении к добычной скважине), коэффициента Пуасона μ, плотности пород ρ. Причем: En <<Еном; E1>> Еном.

При достаточной протяженности пласта между скважинами нефть и газ не извлекаются, и жесткость этих зон выше, чем в районе добычи. Поэтому они являются опорой для вышележащих слагающих слоёв пород. В результате структура донных пород приобретает выраженный волнообразный характер. Сдвижение пород над разуплотнённой зоной может происходить со сводообразованием в неявном виде, когда контур свода 3 (рисунок 1) представлен прерывистыми трещинами, находящимися в неустойчивом равновесии, без выраженного смещения формирующихся блоков пород. Расчёт НДС с учетом постепенного введения указанных факторов показывает неотвратимость дезинтеграции пород. Ряд участков отслаивается друг от друга, возникают условия для уплотнения, разуплотнения, причем модули упругости отличаются друг от друга в десятки раз. Возникают возможности разрушения по верхнему контуру пород от изгиба. Трещины раскрываются со стороны выпуклой части слоёв и сужаются вниз. Для сложной системы пород в зоне активных скважин, у береговой части пласта, а возможно и в зонах замороженных скважин инициируются сейсмические процессы, происходят сжатия, сдвиги, внезапные разрушения блоков, их резкие смещения. Деформирование, в частности, определяется энергией формоизменения системы, достигшей критического состояния при освобождении от связей, когда ей выгодно изменить форму, например, форму волнообразного деформационного контура на новую. Обычно освобождение от связей протекает некоторое время плавно, при небольшом изменении напряжений, но затем по достижении следующего освобождения, меняется многократно и нелинейно (происходит бифуркация). Перед этим, в зонах больших давлений, может возникнуть сеть трещин скольжения и выделение газа с подъёмом части слоя пород у центральной опоры проле-

та между скважинами (особенно при небольшой толщине пород, отделяющих пласт и дно) и опускание у добычной скважины.

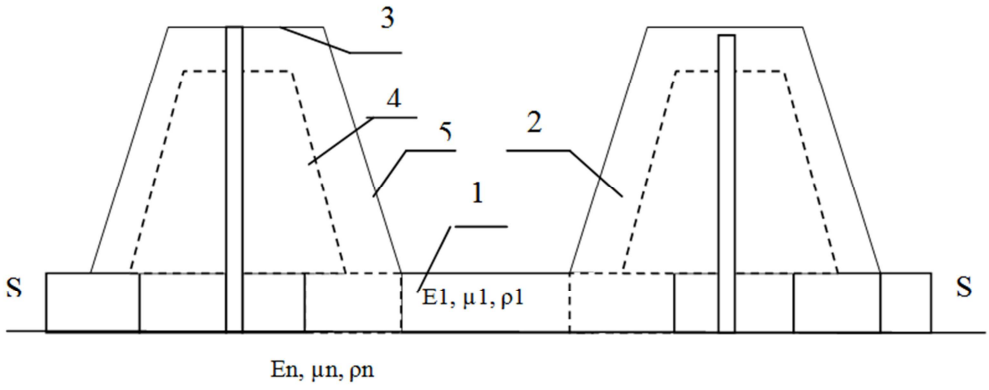

Рисунок 1. Особенности дезинтеграции пород в зоне добычи: 1 – участки изменения модуля деформации пород; 2 – контуры сводообразования пород; 3 – кровля свода; 4 – поверхность консоли у скважины; 5 – зона удлинения разуплотнения при откачке нефти; S – ось относительной симметрии

Произойдёт резкое повышение давления воды, что может вызвать разрушительные волны. Опасность представляет и направленное излучение, формируемое при образовании пластического течения породы в устье трещины, представляющее собой фокусировку энергетического луча. Если исходить из геометрии зоны, где формируются трещины, то объемы пластического ядра достигают нескольких метров, а форма совпадает с обычным клиновидным ядром, формирующимся при локальном нагружении пород. По основным показателям процесса, в момент «схлопывания» клина (предельного утончения его острия), формируется луч, по природе аналогичный лазерному излучению, включая и такие факторы, как свечение. Представленный механизм был ранее предложен для объяснения крупных обрушений пород в угольных шахтах и при формировании внезапных выбросов угля и газа. Сопоставление ряда аналитических и экспериментальных данных, в том числе энергетики процессов, дают удовлетворительное подтверждение. Кроме того, резкое газообразование на отдельных участках и поддутие почв выработок также можно объяснить факторами волнообразного подъёма пород в угольных шахтах. Они происходят в случаях, когда из соседних выработок производилась скважинная дегазация пласта и при отсутствии надлежащего мониторинга за равномерностью процесса. Т.е. происходило не улучшение, а резкое ухудшение опасной ситуации.

Добыча нефти сопровождается увеличением выработанного пространства и вызывает перераспределение напряжений. Так, в условиях начального свода пород над зонами разуплотнений напряжения σ_x и σ_y имеют сжимающий характер. С перемещением зоны ра-

бот на 10 м в верхней точке сопряжения пород и кровли свода – в зоне поверхности 4 у скважины (рисунок 1), над зоной максимального разуплотнения формируется аналог зависающей консоли – уступа пород. Здесь же возникает зона растяжения, протяженностью до 20 % от рассматриваемой. Рисунок 3. Картина же напряжений полностью изменяется. Значения напряжений могут измениться в несколько раз и многократно превышают условия раскрытия трещины отслоения, в результате чего уже при гораздо меньшем пролете происходит поэтапное отслоение кровли. Трещина отслоения в рассматриваемой точке перемещается вперёд на шаг tt, образуя «зависающий» блок (шаг трещины dx можно регулировать в рамках величины tt), также как и шаг увеличения длины разуплотнённой зоны. В соответствии с получаемыми данными в каждом расчётном цикле программно можно получить и условия поперечной трещины в слое. С учетом неравномерной прочности пород аналогичные процессы протекают и в остальных слоях, хотя они более ясно выражены вблизи пласта, и трещины не приводят к явному отделению друг от друга блоков пород, как например это имеет место при добыче угля на шахтах. Эта ситуация подчеркивает неустойчивую равновестность системы пород дна даже при постепенной добыче. Породы фактически разобщены, хотя контуры трещин, оформляющих блочную систему, имеют перерывы. Поэтому эти факторы стимулируют внезапные подвижки пород и резкое возрастание вероятностей аварий, а также поведение пород как активных сред, когда они инициируют нелинейные, нестационарные самоорганизующиеся процессы. Отметим, что плохо прогнозируемые подвижки пород происходят, постоянно формируя сейсмический фон излучения (белый шум) в зоне разработки. При этом формируются и соответствующие газообразные флюиды [4,5].

Расчёт такой системы производится на основе блока математических моделей идентификации её текущего состояния из определенного множества, характерного рассматриваемым условиям [4]. Условиями идентификации могут быть данные дистанционного зондирования массива, показания магнитных, акустических датчиков, располагаемых в скважинах. Расчёты показывают, что параметры устьевого оборудования скважин подвержены существенному риску из-за подвижки пород, которое может внезапно оборвать один из его элементов, вызвав излияние нефти и газа в воды. Современный дистанционный акустический контроль способен далеко не во всех случаях определить колебания пород из-за их незначительности и наличия факторов глушения излучения, как это было в мексиканском заливе.

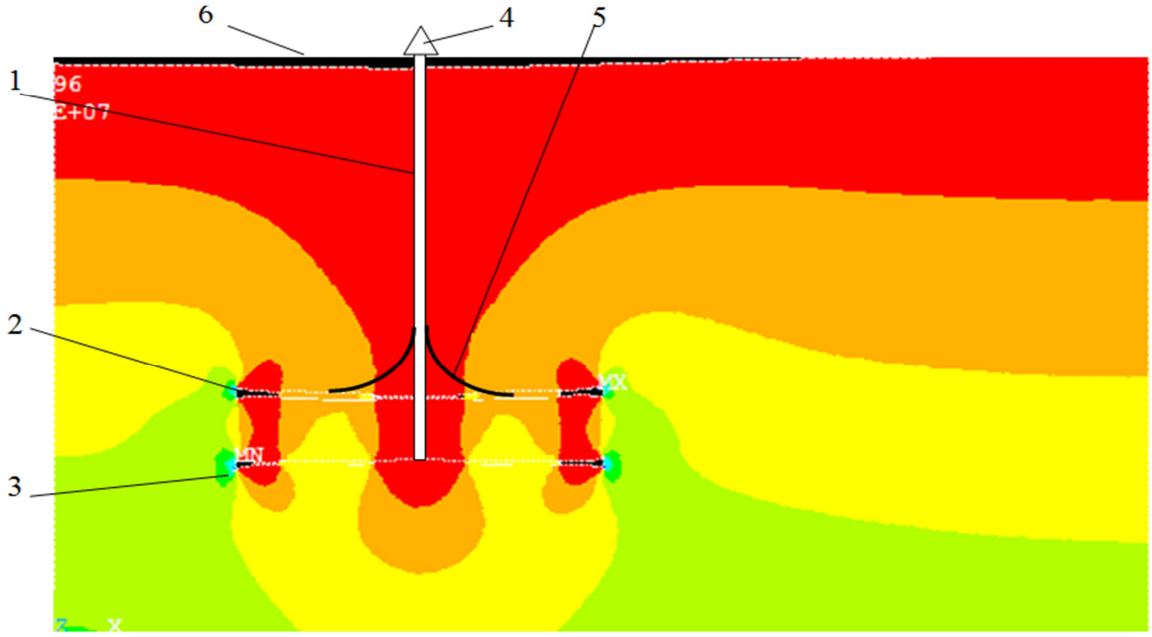

Рисунок 2. Распределение вертикальных напряжений в зоне скважины при разработке двух продуктивных пластов: 1 – ствол; 2, 3 – зоны разуплотнения; 4 – устьевое оборудование; 5 – направления наклонных скважин для активизации притока нефти; 6 – относительное опускание дна по сравнению с линией дна, под которой добыча не ведётся

Относительная редкость аварий металлоконструкций объясняется большой разбросанностью и случайностью распределения зон подвижек пород в пространстве вокруг очистных работ, но, тем не менее, приносит вред глобального масштаба. Многомерный подход позволяет уточнить идентификацию за счёт измерения процессов по нескольким независимым факторам. Поэтому датчиками и автоматизированными базами данных должны оснащаться все морские скважины, а контроль их содержания возлагаться на соответствующие частные и государственные институты проектно-исследовательского и научно-образовательного профиля, куда они должны поступать по независимым каналам.

Из картины распределения вертикальных напряжений, совмещенной с картиной деформации при разработке двух пластов, очевидна существенная величина опускания дна над разработкой. Лишь фактор большого времени протекания сдвижения позволяет надеяться на относительную безопасность работ. Но интенсификация добычи наклонно-направленными скважинами с длиной по пласту до 2 км не сохраняют такие надежды, а с учётом применения диспергентов и физических методов гидроразрыва пласта между параллельными скважинами время изменения НДС может резко сократиться. Они настолько эффективны, что способны сделать рентабельной добычу газа из угольных пластов при использовании аналогов нефтедобывающих технологий. Неудачный же опыт в Караганде, в конце первого десятилетия, связан с многоаспектностью сложных технологических, химические и организационных факторов. При сокращении времени узкая зона относительно равномерного НДС у скважи-

ны (рисунок 2) резко изменится и вызовет подвижку пород, обрыв скважины и вибрацию устьевого оборудования и особенно при применении несимметричной схемы интенсификации добычи (слева или справа от скважины).

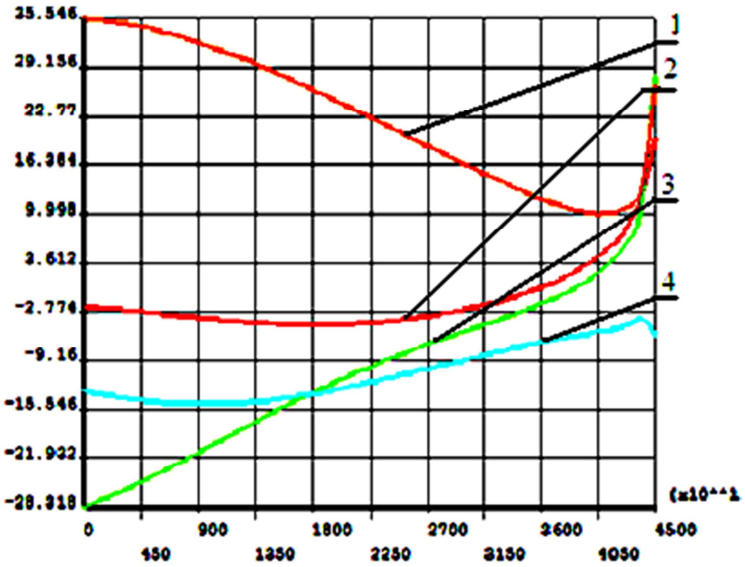

Рисунок 3. Распределение напряжений при удлинении зоны работ

1 - Интенсивность напряжений; 2 – σx; 3 – σy; 4- τxy

Причем опасна и управляемая добыча, если зоны управления окажутся недостаточными. Дело в том, что управление массивом пород позволяет повысить их прочность в рассматриваемой зоне, но в согласии с законами сохранения за пределами участка управления хаотичность пород увеличится, а следовательно, и количество аварий.

Таким образом, проблема управляемой и интенсивной добычи на Каспии возможна при принципиальном изменении отношения во взаимодействии стран региона. Заметим также, что химическое, энергетическое, структурное изменение состояния массива пород и газа в зонах крупных аварий так и не выяснено, хотя по данным МакНИИ, наши опасения подтверждаются [5], и это связано также с тем, что люди, прежде всего, считают возможные потери в деньгах в ближайшее время, чем то, что будет через несколько лет. Катастрофы, подобные происшедшей в Мексиканском заливе, и комплекс факторов им предшествующий редки, но для Каспия достаточно и одной, чтобы его не стало.

Список литературы

1. Жантаев Ж. Ш., Бибосынов А. Ж., Иванчукова А. В. и др. Мониторинг экологической безопасности при добыче и транспортировке углеводородов методами ДЗЗ // Нефть и газ Казахстана. 2011. 2 (602). С. 95–104.

2. Голубов Б. Н. Экспансия нефтегазодобывающей промышленности как регулятор биосферного круговорота впадины Каспийского моря и фактор опасных явлений // Бурение и нефть. 11/2009. С. 16–19.

3. Мельников Н. Н., Калашник А. И., Калашник Н. А. Техногенные геодинамические процессы при освоении нефтегазовых месторождений шельфа Баренцева моря // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12, №4. С. 601–608.

4. Ахметова Ж. Т., Бейсембаев К. М., Дёмин В. Ф., Жетесов С. С., Шманов М. Н. и др. Проблемы системогенеза формоизменения донных пород нефтегазовых залежей // Горный инфорационно-аналитический бюллетень. М., 2011. №7. С.20–26.

5. Исабек Т. К., Хуанган Н. и др. Исследование механизма возникновения внезапного выброса угля и газа // Труды Международной научно-практической конференции «Горнометаллургический комплекс Казахстана: проблемы и перспективы инновационного развития». Ч. 1. Караганда, 2011. С. 315–318.

Рецензенты:

Демин Владимир Федорович, доктор технических наук, профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Карагандинского государственного технического университета, г. Караганда.

Климов Юрий Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры «Система автоматизированного производства» Карагандинского государственного технического университета, г. Караганда.