
РАЗРАБОТКА ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ С НЕОДНОРОДНЫМ КОЛЛЕКТОРОМ СЛОЖНОГО СТРОЕНИЯ

Зубков Михаил Васильевич,

магистрант

ГБОУ ВО «Альметьевский государственный нефтяной институт», Альметьевск, Россия

mike.zubkov@mail.ru

Низаев Рамиль Хабутдинович,

доктор технических наук, доцент

Институт «ТатНИПИнефть», ПАО «Татнефть» им В.Д. Шашина, Бугульма, Россия

nizaev@tatnipi.ru

Аннотация

В статье проведен обзор численных методов, используемых для решения вопросов, связанных с разработкой залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения. Приведены результаты анализа научно-технической литературы, посвященной расчету напряженно деформированного состояния горных пород вокруг глубоких скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения. Выделена актуальная задача по прогнозированию поведения массива пород вокруг глубоких скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения. Проведен обзор численных методов, используемых для решения вопросов, связанных с большими деформациями: метод конечных элементов, метод граничных элементов и метод материальной точки. Использование числовых феноменологических подходов с применением обобщенных параметров оценки больших деформаций в горном деле и геомеханике глубоких скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения требует наличия объективной, некорректируемой входной фактической геолого-физической информации, что не всегда возможно. Удовлетворительные результаты прогнозирования больших деформаций в горном деле и геомеханике скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения могут быть получены с применением метода конечных элементов в уже апробированных программных комплексах в сочетании с классическими расчетами и физическим моделированием, однако решение проблемы, таким образом, требует соответствующего научного уровня специалистов.

Ключевые слова: нефтяные залежи, неоднородный коллектор, геологические структуры, моделирование, разработка месторождений

DEVELOPMENT OF OIL DEPOSITS WITH A HETEROGENEOUS RESERVOIR OF COMPLEX STRUCTURE

Mikhail V. Zubkov,

master's student

Almetyevsk State Petroleum Institute, Almetyevsk, Russia

mike.zubkov@mail.ru

Ramil Kh. Nizaev,

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Institute «TatNIPIneft», PJSC «Tatneft» named after V.D. Shashin, Bugulma, Russia

nizaev@tatnipi.ru

ABSTRACT

The article provides a review of numerical methods used to solve issues related to the development of oil deposits with a heterogeneous reservoir of complex structure. The results of an analysis of scientific and technical literature devoted to the calculation of the stress-strain state of rocks around deep wells of oil deposits with a heterogeneous reservoir of complex structure are presented. The urgent task of predicting the behavior of rock masses around deep wells of oil deposits with a heterogeneous reservoir of complex structure is highlighted. A review is provided of the numerical methods used to solve problems associated with large deformations: the finite element method, the boundary element method, and the material point method. The use of numerical phenomenological approaches using generalized parameters for assessing large deformations in mining and geomechanics of deep wells of oil deposits with a heterogeneous reservoir of complex structure requires the availability of objective, uncorrected input factual geological and physical information, which is not always possible. Satisfactory results of predicting large deformations in mining and geomechanics of oil wells with a heterogeneous reservoir of complex structure can be obtained using the finite element method in already proven software systems in combination with classical calculations and physical modeling, but solving the problem thus requires appropriate scientific specialist level.

Keywords: oil deposits, heterogeneous reservoir, geological structures, modeling, field development

Современные проблемы бурения глубоких разведывательных скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения заключаются в том, что довольно часто возникают ситуации, когда становится технически невозможным и экономически невыгодным дальнейшее продолжение буровых работ. На основе значительной выборки фактических данных исследовано, что осложнения и аварии, ликвидация которых требует значительных материальных затрат, вызванных прежде всего проявлениями разрушения горного массива, и возникают в основном из-за его неуравновешенности. Практически ни одну из скважин глубиной более 5500 м не пробурено без осложнений и аварий. Ввиду неопределенности реального текущего напряженно деформированного состояния и не учета его при нормировании плотности промывных жидкостей как в процессе проектирования, так и бурения скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения горный массив всегда неуравновешен. Он всегда неоднороден по своему строению и свойствам пород. Напряженно-деформированное состояние пород в массиве в одних и тех же стратиграфических горизонтах могут иметь разную величину, что на стадии разработки проектов по бурению предусмотреть невозможно. Потому и возникает необходимость оценки и прогнозирования решения вопросов, связанных с большими деформациями в горном деле и геомеханике разработки скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения. Именно поэтому численные методы, используемые для решения вопросов, связанных с большими деформациями в горном деле и геомеханике при исследовании работающих напряжений в массивах пород скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения имеет огромное практическое значение, так как эти составляющие совместно с физико-механическими и реологическими качествами горных пород являются базой для расчета устойчивости стен незакрепленных стволов скважин.

Исследованием проблем анализа больших деформаций в горном деле и геомеханике скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения с применением численных методов, посвящены работы В.И. Карева [5], А.М. Папуши [6], В.Л. Яковлева, С.В. Корнилюкова [9]. На сегодняшний день есть ряд решений с учетом тех или иных свойств массива: анизотропии, неоднородности, фактора времени и т.п. В тоже время, тематика исследования больших деформаций в горном деле и геомеханике при разработке скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения остается все еще актуальной и требует дальнейших исследований в аспекте расширения методов геомеханики.

Именно поэтому целью работы является обзор численных методов, используемых для решения вопросов, связанных с большими деформациями в процессах разработки скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения.

Анализ профиля ствола скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения на действующих площадках показал, что чаще осложнения возникают в результате нарушение устойчивости стенок скважин, поэтому скважины не достигают проектных глубин и подлежат ликвидации. При этом остаются неоправданными экономические затраты на строительство глубоких скважин. Значительное любопытство для оперативного принятия решений при бурении скважин и их проектировании вызывают закономерности распределения напряжений в пристволенной зоне глубокой скважины.

Соответствующие расчеты производят при оценке производительности пластов до проведения испытаний, обосновании рациональности принятой схемы разрушения пород на забое и надежности изоляции производительных пластов от водоносных после цементирования обсадной колонны. Главным фактором, определяющим устойчивость ствола скважины, является его напряженное состояние в зависимости от величины внешнего воздействия (P_1 , P_2 , P_r), давления пластового флюида и физико-механических свойств пород в условиях их залегания.

При изучении больших деформаций в горном деле и геомеханике, скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения широко применяют численные методы исследования механики деформирующих сред, в частности теории упругости, пластичности, ползучести и т.д. В последнее время происходит интенсивное накопление информации о влиянии различных факторов на большие деформации в горном деле и геомеханике горных пород вокруг скважины и усовершенствовании методов исследований [1]. Методы исследования больших деформаций в горном деле и геомеханике вокруг глубоких и сверхглубоких скважин можно разделить на аналитические, числовые, методы физического моделирования (рис. 1).



Рисунок 1 - Классификация методов определения НДС горных пород вокруг глубоких и сверхглубоких скважин разработки скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения

Исследования с большими деформациями в горном деле и геомеханике в упругой постановке задачи вокруг вертикального ствола скважины проанализированы А.М. Динником в 1926 г. Более детальное решение задачи для незакрепленного ствола получено С.Г. Лехницким (1937 г.).

Упругопластическое напряженно-деформированное состояние массива горной породы вокруг вертикальной выработки скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения рассмотрел Р. Феннер. А. Лабас предложил рассматривать состояние пород в

разрушенных зонах вокруг выработок как сыпучую среду, характеризующуюся внутренним трением и сцеплением.

Числовые методы исследования больших деформаций в горном деле и геомеханике, предложенные И.К. Фоменко, включают обобщение опыта математической интерпретации массивов анизотропных горных пород и применение одного из числовых методов решения задач теории упругости анизотропных сред – метода граничных элементов с широким использованием компьютерной техники. В общем случае для определения напряжений в выделенном горном массиве известны случаи применения метода конечных элементов при конкретных граничных условиях, например пакет программ ANSYS и COMSOL Multiphysics [4]. Глобальные напряжения горного массива вносят существенные изменения в распределение локальных напряжений на территории вертикальной наиболее глубокой скважины залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения (около 8000 м). Однако случаи проведения таких исследований для скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения глубиной 3000...4000 м неизвестны.

В настоящее время исследователями доказано, что для оценки больших деформаций в горном деле и геомеханике при изучении стенок скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения достаточно одних только классических числовых методов расчета.

Известен комплексный числовой метод оценки и прогнозирования больших деформаций в горном деле и геомеханике, базирующийся на выявлении и использовании феноменологических закономерностей деформирования горного массива при разработке скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения.

Числовой мониторинг больших деформаций в горном деле и геомеханике по глубине бурения скважины дает возможность оценивать и прогнозировать напряженно-деформированное геобарическое состояние горного массива. Опыт применения этого метода указывает на необходимость наличия объективной, не скорректированной входной фактической геолого-физической информации. Он основан на наличии информации о конкретных горно-геологических условиях. Работы выполняются с применением компьютерной техники с соответствующим программным обеспечением.

Весьма важный числовой метод исследования больших деформаций в горном деле и геомеханике – метод материальной точки. Задавая координаты всех материальных точек твердого тела при расчетах методами механики сплошной среды, тем самым вносят дополнительные данные в характеристику его термодинамического состояния. При соответствующих внешних условиях в состоянии тела важным является не расположение точек относительно некоторой фиксированной системы координат, а их взаимное расположение независимо от ориентации и положения твердого тела в пространстве

Известен числовой феноменологический метод, в основу которого положено отношение, равное отношению десятичного градиента логарифма силы для разрушенных пород к десятичному логарифму градиента силы для разрушенных пород литологического барьера. Однако он не используется из-за отсутствия текущей первичной информации [7; 8].

Для усовершенствования числового феноменологического метода может быть применен числовой метод оценки геобарически-механических параметров бурением и метод сейсморазведки при разработке скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения. Основные элементы числового метода анализа больших деформаций в горном деле и геомеханике при разработке скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения:

- технические средства первичной информации;
- модель напряженного состояния (с учетом упругих свойств сплошной среды), образованного процессом осадконакопления горного массива;
- математическая интерпретация разрушения горного массива, программные средства [2].

При оценке больших деформаций массива пород вокруг глубоких скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения следует обратить внимание на учет изменения состояния массива горной породы вокруг скважины со временем, однако она разработана только для соляных и скважин глинистых пород. Разработанная методика позволяет экспериментально определить изменение физико-механических и реологических свойств породы в стадии неупругой деформации в зависимости от напряженного состояния [3]. Методика включает:

- определение скорости течения соляных и глинистых пород в зависимости от напряженного состояния раскрытого пласта;
- определение прочностных параметров соляных и глинистых пород в зависимости от скорости неупругой деформации;
- прогнозирование давления на колонну во времени от момента перекрытия ею неупруго-деформированных пород до завершения бурения скважины.

Известен метод оценки больших деформаций в горном деле и геомеханике по наличию слоя с пониженными физико-механическими характеристиками. Однако этот метод расчета желательно применять, когда ранее известно наличие слоя с пониженными физико-механическими характеристиками.

Проблема прогнозирования напряженно-деформированного состояния глубоких скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения достаточно актуальна и широко исследована, однако применение классических аналитических подходов решает задачу только для определенных частных случаев.

В статье проведен обзор численных методов, используемых для решения вопросов, связанных с большими деформациями: метод конечных элементов, метод граничных элементов и метод материальной точки.

Использование числовых феноменологических подходов с применением обобщенных параметров оценки больших деформаций в горном деле и геомеханике глубоких скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения требует наличия объективной, некорректируемой входной фактической геолого-физической информации, что не всегда возможно.

Удовлетворительные результаты прогнозирования больших деформаций в горном деле и геомеханике скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения могут быть получены с применением метода конечных элементов в уже апробированных программных комплексах в сочетании с классическими расчетами и физическим моделированием, однако решение проблемы, таким образом, требует соответствующего научного уровня специалистов.

Вопросы оценки больших деформаций в горном деле и геомеханике глубоких скважин залежей нефти с неоднородным коллектором сложного строения остаются не до конца изученными и требуют определенных инженерных методик для оперативной оценки состояния скважины.

Список литературы:

1. Алымжанов А.М. Напряженно деформированное состояние вокруг глубоких скважин в условиях неоднородности механических свойств пород приствольной зоны: автореф. дис. ... канд. физ.-матем. наук: 01.02.04 Новосибирск, 1994. 32 с.
2. Барановский Е.М., Мойсишин В.М. Главная задача геомеханики в решении проблем глубокого бурения // Разведка и разработка нефтей. и газ. месторождений. 2006. № 4. С. 5–9.
3. Варях А.А., Самоделкина Н.А., Телегина Е.А., Шумилина А.Ю. Параметрическое обеспечение задач математического моделирования геомеханических процессов по данным маркшейдерских и сейсморазведочных наблюдений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2009. №5. С. 259-265.
4. Гладышев С.В., Попов С.Н., and Шустов Д.В. Прогноз напряженно-деформированного состояния горного массива методом конечных элементов при разработке Шершнёвского месторождения нефти на основе трехмерной геологической модели // Недропользование. 2008. №3. 44-54.
5. Карев В.И., Коваленко Ю.Ф. Геомеханика нефтяных и газовых скважин // Вестник Нижегородского ун-та им. Н.И. Лобачевского. 2011. № 4. С. 448–450.

6. Папуша А.Н., Гонтарев А.Н. К вопросу расчета напряженно-деформированного состояния горного массива в окрестности сверхглубокой вертикальной скважины // Вестник МГТУ. 2010. № 5. С. 81–93.
7. Стасенко В.М., Карпенко В.М., Козаченко М.И. Проблемы оценки и прогнозирования геобарического и напряженно деформированного состояния горного массива под время бурение глубоких нефтяных и газовых скважин // Нефтяная и газовая промышленность. 2008. № 2. С. 20–22.
8. Стасенко В.М., Карпенко В.М., Козаченко М.И. Техника и технология оценки и прогнозирования геобарического и напряженно-деформированного состояния горного массива во время бурения глубоких нефтяных и газовых скважин // Нефтяная и газовая промышленность. 2008. № 3. С. 21–25.
9. Яковлев В.Л., Корнилков С.В. Геотехнологические проблемы и особенности ведения горных работ на глубоких карьерах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. №56. С. 54-66.

References:

1. Alymzhanov A.M. Stress-strain state around deep wells under conditions of heterogeneity of mechanical properties of rocks in the near-wellbore zone: author's abstract. diss. ... candidate of physical and mathematical sciences: 01.02.04 Novosibirsk, 1994. 32 p.
2. Baranovsky E.M., Moysishin V.M. The main task of geomechanics in solving deep drilling problems // Exploration and development of oil and gas fields. 2006. No. 4. P. 5–9.
3. Varyakh A.A., Samodelkina N.A., Telegina E.A., Shumilina A.Yu. Parametric support for the tasks of mathematic modeling of geomechanical processes based on mine surveying and seismic observations // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2009. No. 5. P. 259-265.
4. Gladyshev S.V., Popov S.N., and Shustov D.V. Forecast of the stress-strain state of a rock massif using the finite element method during the development of the Shershnevskoye oil field based on a three-dimensional geological model // Subsoil use. 2008. No. 3. 44-54.
5. Karev V.I., Kovalenko Yu.F. Geomechanics of oil and gas wells // Bulletin of the Nizhny Novgorod University named after N.I. Lobachevsky. 2011. No. 4. P. 448-450.
6. Papusha A.N., Gontarev A.N. On the issue of calculating the stress-strain state of a rock mass in the vicinity of a superdeep vertical well // Bulletin of Moscow State Technical University. 2010. No. 5. Pp. 81–93.
7. Stasenko V.M., Karpenko V.M., Kozachenko M.I. Problems of assessing and forecasting the geobaric and stress-strain state of a rock mass during drilling of deep oil and gas wells // Oil and Gas Industry. 2008. No. 2. Pp. 20–22.
8. Stasenko V.M., Karpenko V.M., Kozachenko M.I. Technique and technology for assessing and forecasting the geobaric and stress-strain state of a rock mass during drilling of deep oil and gas wells // Oil and Gas Industry. 2008. No. 3. P. 21-25.
9. Yakovlev V.L., Kornilkov S.V. Geotechnological problems and features of mining operations in deep quarries // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2015. No. 56. P. 54-66.