

## АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПЕСКОПРОЯВЛЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЛАБОСЦЕМЕНТИРОВАННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Тананыхин Д.С.<sup>1</sup>, Максютин А.В.<sup>1</sup>, Султанова Д.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия (199106, Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., д.2), e-mail: DmitrySPMI@mail.ru

Доля нефтяных и газовых месторождений, разрабатываемых в слабосцементированных коллекторах, увеличивается ежегодно. Пескопроявление может начаться в случае, если скорость потока жидкости превышает критические значения, определяемыми такими факторами, как напряженное состояние, текучесть горной породы, вид заканчивания скважины и т.д. Объем выносимых твердых веществ может быть менее нескольких грамм на кубометр добываемого пластового флюида, что создает лишь незначительные проблемы, или же может быть значительным и привести к эрозии и, в некоторых случаях, к заполнению и блокированию ствола скважины. Использование моделей прогнозирования пескопроявления всегда было важным этапом при эксплуатации месторождений со слабосцементированными коллекторами. В статье приводится обзор существующих моделей прогноза выноса песка. Рассмотрены основные параметры, влияющие на процесс пескопроявления и участвующие в анализируемых моделях. Анализ существующих моделей позволит выбрать наиболее надежную, которая сможет с высокой степенью достоверности спрогнозировать начало пескопроявления для конкретных условий месторождения.

Ключевые слова: модели прогноза пескопроявления, слабосцементированные породы, разрушение коллектора, химическое крепление.

## REVIEW OF SAND PREDICTION MODELS DURING THE OPERATION OF UNCONSOLIDATED FORMATIONS

Tananykhin D.S.<sup>1</sup>, Maksyutin A.V.<sup>1</sup>, Sultanova D.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National mineral resources university (Mining university), Saint Petersburg, Russian Federation (199106, Saint-Petersburg, 21<sup>st</sup> line V.O., 2), e-mail: DmitrySPMI@mail.ru

The share of oil and gas fields with unconsolidated reservoirs grows every year. Sanding may begin if the fluid flow rate exceeds critical values, determined by factors such as stress state, consistency of the reservoir rock, the type of well completion, etc. The volume of submitted solids may be less than a few grams per cubic meter of produced formation fluid, posing only minor problems, or it can be significant and lead to erosion and, in some cases, to fill and block the wellbore. The use of sand production prediction models has always been an important issue during the exploitation of the unconsolidated formations. This article provides an overview of existing models for prediction of sand production. The main parameters influencing on the process of sand production are analyzed. Knowing of all available patterns will allow us to choose the most reliable one, which can predict the beginning of the sand production with a high degree of reliability according to the specific conditions of the oil&gas field.

Keywords: sand prediction models, unconsolidated formations, reservoir destruction, chemical consolidation.

Прогнозирование пескопроявления является одним из наиболее важных этапов разработки месторождения и необходимо детально изучить условия, при которых начинается вынос песка. Модели прогноза создаются на этапе проектирования, либо на начальных этапах разработки, для определения целесообразности применения различных методов борьбы с разрушением коллектора. Подобные модели предполагают проектирование вида заканчивания скважины, планирование стратегии управления залежью, проектирование перфорации, мониторинг пескопроявления, выбор наземного оборудования. Задача прогнозирования очень непростая, так как предсказание процесса пескопроявления это скорее искусство, чем наука. В настоящее время известно множество опубликованных научных

работ, посвященных данной тематике, как в России, так и за рубежом. В результате литературного и патентного обзоров можно формально выделить четыре основных подхода при прогнозировании выноса песка: эмпирический метод с использованием промысловых данных, моделирование в лабораторных условиях, численные и аналитические методы [5]. Для повышения достоверности модели прогнозирования пескопроявления обычно используют одновременно два и более подхода.

#### **Эмпирический метод прогнозирования пескопроявления с использованием промысловых данных**

Эмпирический метод основан на прогнозе взаимосвязи между скважинными данными при фактическом выносе песка и промысловыми параметрами пласта. Обычно один или несколько параметров используются для оценки возможного разрушения коллектора и для определения граничных условий начала пескопроявления. Высокая достоверность данного метода может быть достигнута через несколько лет исследований из-за сложностей при мониторинге и регистрации значимых данных по всем анализируемым скважинам. Такие параметры как пористость, депрессия, расход, сжимаемость пород и др. являются наиболее часто используемыми. Более полный перечень факторов, влияющих на устойчивость горных пород к разрушению при скважинной части пласта представлен на рисунке 1 [4].

Известно, что устойчивость пород при скважинной части пласта определяется такими факторами, как:

1. Геологические условия и глубина залегания эксплуатационного объекта;
2. Технологические условия в процессе освоения и эксплуатации скважин (градиент давления, скорость фильтрации пластовых флюидов в прискважинной части, обводненность добываемой продукции, минерализация пластовых вод);
3. Физико-механические свойства пород, слагающих продуктивный пласт (предел прочности и текучести, модуль упругости и сдвига, коэффициент Пуассона, тип цемента породы, глинистость породы, минералогический и гранулометрический состав пластового песка, сжимаемость горных пород и их реологические свойства).



*Рис.1. Факторы, влияющие на устойчивость горных пород к разрушению прискважинной части пласта [1]*

Наиболее простым способом прогнозирования пескопроявления, на основе данной модели, является использование всего одного параметра. Например, согласно исследованиям Bellarby [2], коллектор с пористостью выше 30%, с высокой степенью вероятности, подвержен значительному пескопроявлению. Другим критерием является глубина. При анализе литературы, в трудах Tixier и Lantz были отмечены глубины 2150 м и 3650 м. Данные значения сильно варьируются в зависимости от региона исследований. Согласно авторам, при глубинах скважин ниже представленных значений, пескопроявления наблюдаться не будет. Еще одним фактором может выступать время прохождения продольной звуковой волны. Данный критерий также зависит от месторождений и не является унифицированным.

Для оценки максимально возможного дебита, не приводящего к разрушению призабойной зоны, Stein использовал отношение плотности горных пород к динамическому модулю сдвига.

### **Моделирование пескопроявления в лабораторных условиях**

Моделирование пескопроявления в лабораторных условиях широко используется для определения взаимосвязи между риском начала выноса песка и следующими регулируемые параметрами: напряженное состояние, расход через образец керна и прочность горных пород. В лабораторных экспериментах возможно использование как естественных образцов керна материала, так и насыпных моделей пласта. Целью лабораторных исследований является моделирование фильтрации пластового флюида, например, через перфорационные каналы. Данный метод используется для уточнения аналитических или численных моделей [5].

Основным недостатком этого подхода является потребность в большом количестве представительных образцов керна. Кроме этого немаловажными являются значительные трудо- и времязатраты на подготовку образцов керна, проведение эксперимента, обработку полученных результатов. Огромное значение при моделировании в лабораторных условиях приобретает оборудование для проведения эксперимента, его технические возможности по моделированию термобарических условий месторождения.

Сотрудниками кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений Национального минерально-сырьевого университета «Горный» были проведены лабораторные эксперименты по исследованию повышения прочностных характеристик слабосцементированных естественных образцов горных пород до и после обработки химическими реагентами на установке 65-L11G2/С (рисунок 2).



*Рис.2. Полуавтоматическое устройство для испытаний на сжатие/изгиб 65-L11G2/С*

#### **Аналитические модели прогноза пескопроявления**

Аналитические модели получили широкое распространение благодаря простоте компьютерной реализации, упрощенным математическим вычислениям и возможности проведения сравнительного анализа нескольких параметров, влияющих на разрушение призабойной зоны слабосцементированных коллекторов. В основе данного метода лежит принцип устойчивости перфорационных каналов и пустот. Основным требованием аналитической модели являются математические вычисления механизма разрушения слабосцементированных пород. Стабильность образующихся пустот соотносится с напряжениями, действующими в пластовых условиях, и влияющими непосредственно на матрицу горной породы. Напряжения образуются в результате действия следующих

факторов: горное давление, поровое давление, градиент давления, возникающий при фильтрации жидкости в призабойной зоне пласта, межфазное натяжение, сила вязкого сопротивления. Moore [3], выявил ряд инженерно-геологических параметров, которые следует рассматривать для полной оценки потенциала пескопроявления:

1. Промысловые данные;
2. Циклические нагрузки;
3. Внутрипластовые напряжения;
4. Качество цементации;
5. Геометрические размеры и интервал перфорации;
6. Геометрические размеры пустот перфорационных каналов и плотность перфорации;
7. Давление в скважине;
8. Дебит скважины;
9. Проницаемость, вязкость и относительные фазовые проницаемости для двух и трехфазного потока;
10. Деформационные характеристики горных пород;
11. Прочностные характеристики горных пород;
12. Фильтрация жидкости через пористую среду в зоне невыполнения закона Дарси;
13. Физико-механические свойства, полученные по данным каротажа;
14. Лабораторные исследования трехосных испытаний образцов кернового материала;
15. Региональные тектонические силы.

Вышеуказанные параметры были выделены в результате анализа существующих в нефтегазовой отрасли моделей прогнозирования пескопроявления. Однако ни один метод прогнозирования пескопроявления не может учесть все данные, отмеченные в таблице 1. Причина в том, что процесс получения данных обширен и часть сведений могут быть не доступны во время разработки месторождения.

### **Численные модели прогноза пескопроявления**

Численные модели прогнозирования производятся на основе расчёта методом конечных элементов, охватывающих все виды поведения горных пород в процессе пластических, упругих деформаций и деформаций, зависящих от времени. Численные модели позволяют получить подробное описание напряженного состояния и обладают высокой точностью. По сравнению с другими методами прогнозирования пескопроявления, численные модели обладают более высокой достоверностью, поскольку учитывают большое количество факторов, влияющих на разрушение горных пород и на пескопроявление в целом [6]. Основным недостатком этого метода являются сложность его выполнения и времязатраты. Требуемые для расчета параметры также могут быть не доступны.

## **Заключение**

В результате проведенного анализа существующих моделей прогнозирования пескопроявления были сделаны следующие важные выводы:

1) С определенной степенью точности любой из рассмотренных выше методов прогнозирования может быть использован для оценки потенциала пескопроявления. Точность проанализированных методов зависит от качества и количества исходных данных.

2) Основным недостатком является тот факт, что процесс получения необходимых исходных данных для построения достоверной модели прогнозирования пескопроявления, в большинстве случаев, занимает больше времени, чем получение промысловых данных, т.е. фактического выноса песка и разрушения горной породы. Таким образом, компания-разработчик и без подобной модели уже будет знать, происходит пескопроявление или нет.

## **Список литературы**

1. Тананыхин Д.С. Химические методы предупреждения пескопроявления и крепления слабосцементированных коллекторов при разработке нефтяных и газовых месторождений/ Д.С. Тананыхин, А.В. Петухов, О.Б. Сюзев // Нефтегазовое дело. – Уфа: Выпуск 10, №1, 2012. С. 16-22.
2. Bellarby J. Well Completion Design. First edition, Oxford, U.K: Elseviers Publications, 2009.
3. Moore W.R. Sand Production Prediction. J Petrol Technol: 955. SPE 29331-PA. 1994.
4. Veeken C.A.M. Sand Production Prediction Review: Developing an Integrated Approach / D.R. Davies, C.J. Kenter, A.P. Kooijman// Paper SPE 22792 presented at 66th Annual Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers, Dallas, TX. October 6-9, 1991.
5. Qui K. Practical approach to accuracy in sanding prediction/ J.R. Marsden, J. Alexander, A. Retnanto, O.A. Abdelkarim// Paper SPE 100944 presented at the SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition. – Adelaide, Australia: 11-13 September, 2006.
6. Aborisade O.M. Practical approach to effective sand prediction, control and management / A thesis presented to the Department of Petroleum Engineering, African University of science and Technology// Nigeria, 2011, 94 стр.

## **Рецензенты:**

Васильев Н.И., д.т.н., профессор кафедры бурения скважин Национального минерально-сырьевого университета «Горный», г. Санкт-Петербург;

Петухов А.В., д.г.-м.н., профессор кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений Национального минерально-сырьевого университета «Горный», г. Санкт-Петербург.