

# Использование методов кластеризации по механическим свойствам для расчета напряженного состояния на участке Северо-Комсомольского месторождения

Федоров А.И.<sup>1</sup>, Кузнецов С.А.<sup>1</sup>, Ардисламова Д.Р.<sup>1</sup>, Давлетова А.Р.<sup>1</sup>, Хакимов А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «РН-БашНИПнефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Уфа, Россия; <sup>2</sup>ООО «Севкомнефтегаз» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Губкинский, Россия  
sa\_kuznetsov21@bniipi.rosneft.ru

## Аннотация

В работе рассмотрен новый подход к построению геомеханических моделей месторождений, основанный на выделении механических фаций — интервалов или объемов породы с близкими упруго-прочностными характеристиками. Данный подход включает в себя не только выделение в разрезе механических фаций, но и построение корреляционных связей для каждой встречающейся фации. Дальнейшим этапом является распространение механических фаций по объему месторождения, инициализация упругих свойств и последующий расчет напряженного состояния пласта.

Предложенный в настоящей работе подход к построению геомеханической модели пласта с учетом кластеризации разреза по механическим свойствам апробирован на примере слабоконсолидированных пород пласта ПК1 покурской свиты и вышележащих глинистых покрышек березовской и кузнецовской свит на одном из участков Северо-Комсомольского месторождения. Проблема поглощений бурового раствора, а также потеря целостности стенок стволов наклонно-направленных и горизонтальных скважин является актуальной для данного месторождения. Риски возникновения осложнений, связанных с потерей устойчивости стенок стволов скважин, наряду с поглощениями бурового раствора ведут к увеличению непроизводительного времени бурения, ухудшению фильтрационно-емкостных свойств коллектора и в крайних случаях могут приводить к необходимости перебуривания стволов скважин. С целью минимизации рисков возникновения осложнений на стадии планирования предлагается проводить геомеханическое моделирование целевого разреза с опорой на данные лабораторных исследований керна, специального комплекса геофизических исследований скважин, данные сейсморазведки и результаты инженерных расчетов.

Для проведения расчетов использованы программные комплексы «РН-СИГМА» и «РН-Буровые расчеты».

## Материалы и методы

Для минимизации рисков поглощений бурового раствора, а также потери целостности стволов наклонно-направленных и горизонтальных скважин предлагается проводить геомеханическое моделирование с последующим формированием карт управления рисками.

## Ключевые слова

геомеханическое моделирование, механические фации, кластеризация, упруго-прочностные свойства и напряжения, расчеты устойчивости стволов скважин, карты управления рисками

## Для цитирования

Федоров А.И., Кузнецов С.А., Ардисламова Д.Р., Давлетова А.Р., Хакимов А.А. Использование методов кластеризации по механическим свойствам для расчета напряженного состояния на участке Северо-Комсомольского месторождения // Экспозиция Нефть Газ. 2025. № 2. С. 65–70. DOI: 10.24412/2076-6785-2025-2-65-70

Поступила в редакцию: 25.03.2025

DESIGN

550.8.072+622.24.001.57 (470.13) | Original Paper

## Use of mechanical property clustering methods to calculate the stress state at the Severo-Komsomolskoe field site

Fedorov A.I.<sup>1</sup>, Kuznetsov S.A.<sup>1</sup>, Ardislamova D.R.<sup>1</sup>, Davletova A.R.<sup>1</sup>, Hakimov A.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>“RN-BashNIPneft” LLC (“Rosneft” PJSC Group Company), Ufa, Russia; <sup>2</sup>“Sevkomneftegaz” LLC (“Rosneft” PJSC Group Company), Gubkinsky, Russia  
sa\_kuznetsov21@bniipi.rosneft.ru

## Abstract

The paper considers a new approach to the construction of geomechanical models of deposits based on the identification of mechanical facies – intervals or volumes of rock with similar elastic and strength characteristics. This approach includes not only the identification of mechanical facies in the section, but also the construction of correlations for each facies encountered. The next step is to propagate the mechanical facies throughout the field, initialize the elastic properties and then calculate the stress state of the formation.

The approach to constructing a geomechanical formation model taking into account clustering of the section by mechanical properties proposed in this paper was tested on the example of weakly consolidated rocks of the PK1 formation of the pokurskaya suite and overlying clay capes of the berezovskaya and kuznetsovskaya suites in one of the sites of the Severo-Komsomolskoye field. The problem of mud losses, as well as loss of wellbore stability of deviated and horizontal wells is actual for this field. Risks of drilling problems associated with loss of wellbore stability, in combination with mud losses, lead to an increase in non-productive time, deterioration of reservoir properties and in extreme cases can lead to the need to re-drill wellbores. In order to minimize the risks of problems, at the planning stage, it is proposed to conduct geomechanical modeling of the target section based on the data of laboratory-analytical core studies, a special set of well logging, seismic data and the results of engineering calculations. RN-SIGMA and RN-Drilling Calculations software were used for the computations.

## Materials and methods

Geomechanical modeling with subsequent formation of risk management maps is proposed to solve the problem of drilling fluid loss and loss of wellbore stability in deviated and horizontal wells.

## Keywords

geomechanical modeling, mechanical facies, clustering, elastic properties and stresses, wellbore stability calculations, fault reactivation, risk maps

## For citation

Fedorov A.I., Kuznetsov S.A., Ardislamova D.R., Davletova A.R., Hakimov A.A. Use of mechanical property clustering methods to calculate the stress state at the Severo-Komsomolskoe field site. Exposition Oil Gas, 2025, issue 2, P. 65–70. (In Russ). DOI: 10.24412/2076-6785-2025-2-65-70

Received: 25.03.2025

## Введение

Бурение скважин с горизонтальным окончанием сквозь слабоконсолидированные и глинистые породы практически всегда ведет к рискам осложнений, связанным как с обрушением стволов скважин, так и с поглощением промывочной жидкости. Для предварительной оценки рисков и выработки оптимальной стратегии бурения необходимо использовать модель напряженного состояния пласта. Важной особенностью построения модели напряженного состояния высоконапряженных коллекторов с контрастными по упругим свойствам включениями является необходимость трехмерного моделирования. В силу слабой консолидации породы необходимо построение наиболее достоверной модели упругих свойств. Одним из подходов для повышения достоверности модели является применение подхода с выделением механических типов пород вместо литологических. Так, в работе [1] показано, что литотипы не всегда напрямую соотносятся с механическими свойствами горной породы.

Целью настоящей работы является демонстрация возможности инструментов кластеризации разреза по механическим фациям для повышения достоверности прогноза рисков при бурении на пласт ПК1 покурской свиты, а также смежных глинистых отложений березовской и кузнецовской свит Северо-Комсомольского месторождения.

Продуктивный пласт ПК1 приурочен к верхней части покурской свиты, которая относится к сеноманскому ярусу меловой системы. Данный пласт является высокопроницаемым, слабо консолидированным терригенным коллектором. Следует отметить, что порядка трех четвертей всех запасов углеводородов месторождения сосредоточено в пласте ПК1. Исследуемые отложения ПК1 покурской свиты и вышележащие глинистые покрывки березовской и кузнецовских свит вскрываются секциями эксплуатационных колонн и хвостовиков. Анализ истории строительства на Северо-Комсомольском месторождении [2] показывает, что основными проблемами при бурении горизонтальных скважин на пласт ПК1 являются затяжки и посадки бурового инструмента, в т.ч. сопровождающиеся выходом обвального шлама, ростом давления и момента, а также поглощением промывочной жидкости при бурении от минимальных до катастрофических.

Вероятными причинами затяжек и посадки при бурении хвостовиков являются как недостаточная очистка стволов скважин от выбуренного шлама, так и влияние геометрии ствола (с учетом отсутствия обвальной породы на выходе, а также проводимых гидравлических расчетов). Для секций эксплуатационных колонн затяжки и посадки могут быть связаны с частичным обрушением стенок стволов скважин (зафиксирован выход обвальной породы) ввиду недостаточной плотности промывочной жидкости.

Причиной зафиксированных поглощений буровых растворов при бурении секций эксплуатационных колонн могла послужить естественная трещиноватость горных пород в интервале березовской свиты, наличие которой подтверждается результатами интерпретации

имиджевых каротажей, а также возможная реактивация разломов в точке пересечения со скважиной.

Повышение эффективности бурения в таких условиях связано с определением интервалов с несовместимыми условиями бурения для оптимизации конструкций и параметров бурения. Одним из важнейших шагов для решения этой проблемы является построение достоверной геолого-геомеханической модели как на масштабе отдельных скважин (1D), так и на масштабе месторождения (3D).

## Методы кластеризации по механическим свойствам

Методы кластеризации данных представляют собой класс методов машинного обучения без учителя, отличительной чертой которых является детерминированность [3]. Их отличие от классического выделения литотипов состоит в том, что пространственно данные может быть выбрано сообразно решаемой задаче. Например, для задачи подбора оптимального дизайна гидроразрыва пласта (ГРП) необходимыми входными данными являются упругие характеристики, которые при необходимости можно дополнить данными о проницаемости породы. Последнее может быть включено в исходные данные для дальнейшего моделирования с учетом различия в коэффициентах утечки по пропласткам. Характерным набором данных для задачи снижения рисков при бурении можно считать упругие и прочностные характеристики. Поскольку зачастую прочностные характеристики связаны корреляционными соотношениями именно с упругими свойствами и плотностью породы, можно считать механической фацией породу с определенными модулями Юнга и Пуассона, а также плотностью. В программном комплексе «РН-СИГМА» (ПК «РН-СИГМА») разработан модуль кластеризации по механическим фациям [1] на основе скоростей продольных и поперечных звуковых волн, а также плотности. Эти характеристики являются полностью эквивалентными указанным выше.

Для распространения механических фаций в пространстве нельзя использовать кластеризацию пород, выполненную независимо на каждой скважине, поскольку для построения модели на уровне месторождения необходимы единая нумерация кластеров, а также учет изменчивости характеристик пласта. Поэтому наиболее корректным способом необходимо признать использование данных всех опорных скважин в одном расчете, так называемый многоскважинный режим расчета. ПК «РН-СИГМА» предоставляет и такую возможность. Необходимо также упомянуть, что все расчеты выполнены с использованием метода голосования [3] как одного из наиболее достоверных методов кластеризации.

## Подготовка моделей механических свойств

При разбиении разреза по механическим фациям основным используемым набором данных являются результаты обработки данных широкополосного акустического каротажа (АКШ) — интервальные времена продольной ( $\Delta t_p$ ) и поперечной ( $\Delta t_s$ ) волн и объемная плотность пород ( $\rho$ ) по данным плотностного гамма-гамма каротажа. Кроме того, для калибровки как одномерных, определенных вдоль траектории, так и трехмерных, определенных в межскважинном пространстве, моделей, используются данные бурения, керновые данные, результаты стандартного и специального комплексов геофизических исследований (ГИС), данные микроимиджеров, замеры пластового давления, а также данные стресс-тестов (микро-ГРП) с помощью испытателей пластов на кабеле (ИПК). Керновые исследования также легли в основу построения корреляционных зависимостей в пределах выделенных механических фаций. В качестве опорных для одномерного геомеханического моделирования были выбраны пять скважин с наиболее полным набором данных: кросс-дипольный акустический каротаж, лабораторные исследования динамических и статических упругих характеристик, паспорта прочности. Дополнительно

Табл. 1. Распределение механических фаций по пластам

Tab. 1. Distribution of mechanical facies by layers

Пласт	Коды механических фаций	Литологическое описание слагающих пород
Березовская свита (нижняя)	K1, K2, K3, K4	глины сероцветные, крепкие, с неровным сколом, алевритистые, с неравномерным включением линзовидной пятнистой и прожилковой формы песчаников, с редкими включениями обуглившегося детрита и алевролитами мелкозернистыми, с намывами глин; глины и алевролиты чередуются с опоками
Кузнецовская свита	K5, K6, K7, K8	глины темно-серые, зеленовато-серые, до черных, чешуйчатые, часто алевритистые, с редкими зернами глауконита
Покурская свита пласт ПК1	K9, K10, K11, K12	слабо уплотненные разности: пески, песчаники, алевриты, алевролиты, глины; песчаники слабосцементированные до рыхлых; глины пластичные, часто аргиллитоподобные, с чешуйчатым изломом, иногда опесчаненные, с линзами и прослоями песчаников

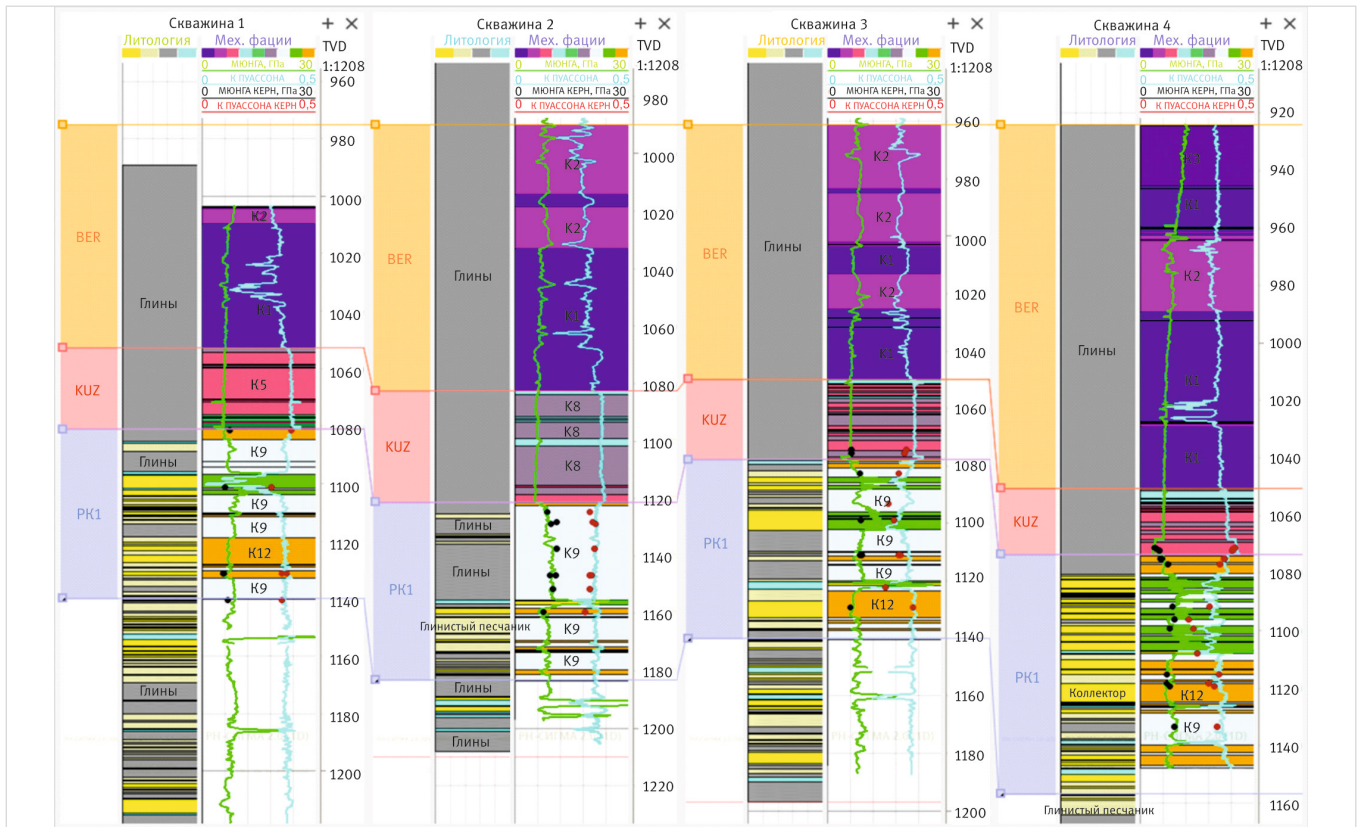


Рис. 1. Выделение механических типов по разрезу на четырех из шести скважин  
 Fig. 1. Identification of mechanical types by section in four of six wells

были использованы данные по пяти скважинам с набором исследований порового давления и давления смыкания трещин (в том числе с трех опорных скважин).

Далее на основе алгоритма многоскважинной кластеризации выполнено расчленение разреза на механические типы с учетом деления разреза на стратиграфические слои на выборке опорных скважин со специальным комплексом ГИС. Всего выделено 12 механических фаций по 4 кластера в каждой стратиграфической единице (табл. 1).

На рисунке 1 отражены полученные механические колонки и исходные непрерывные кривые динамических упругих свойств вместе с точечными замерами на керне. Можно

отметить, что пласт РК1 равномерно охвачен керновыми исследованиями с точки зрения покрытия механических типов. Механические типы отложений березовской и кузнецовской свит в силу малой статистики исследования неравномерно.

Сравнительный анализ литологических и механических типов пород пласта РК1 (рис. 2) указывает на влияние литологического типа пород на механические свойства. Интервалы песчаника преимущественно механическими фациями K10 и K12. При увеличении глинистой составляющей превалирует фация K9. В интервалах плотных пород порядка 30 % занимает фация K11, которая не представлена в других литологических типах.

На основании керновых исследований построены корреляционные зависимости между статическим и динамическим модулями Юнга по каждой механической фации. На рисунке 3 приведены примеры таких зависимостей по некоторым выделенным фациям.

В силу малого объема керновых исследований для кузнецовской свиты построена одна корреляционная зависимость на три механические фации. Необходимо отметить, что использование кластеризации разреза на механические фации позволило улучшить корреляционные зависимости для прогноза статического модуля Юнга по сравнению с зависимостями, построенными с использованием разбиения пород по литологическому признаку. В отличие от модуля Юнга, наиболее достоверным вариантом для коэффициента Пуассона стало построение общей корреляционной зависимости без разделения пород на механические или литологические типы (рис. 4).

Результатом этой части работы стало построение колонок механических фаций с определением средних значений динамических упругих модулей по каждой фации, а также корреляционных зависимостей по всем фациям.

#### Построение и калибровка 3D-моделей

Методика построения геомеханической модели устойчивости ствола скважины заключается в последовательном определении компонент геомеханической модели по имеющимся входным, восстановленным и расчетным данным ранее пробуренных скважин. Построение геомеханической модели включает в себя расчет геостатического напряжения с последующей оценкой порового давления, давления гидроразрыва, давления поглощения промывочной жидкости

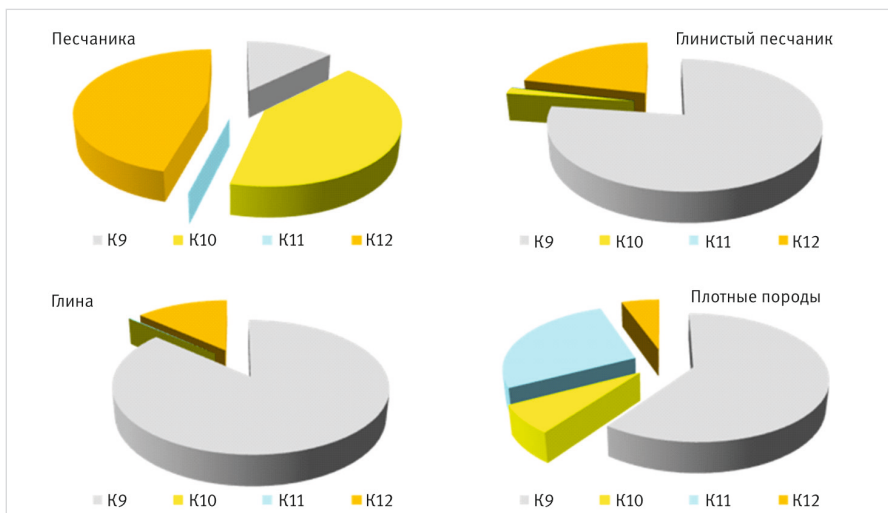


Рис. 2. Сравнение литологических и механических типов пород покурской свиты  
 Fig. 2. Comparison of lithological and mechanical types of rocks of pokurskaya suite

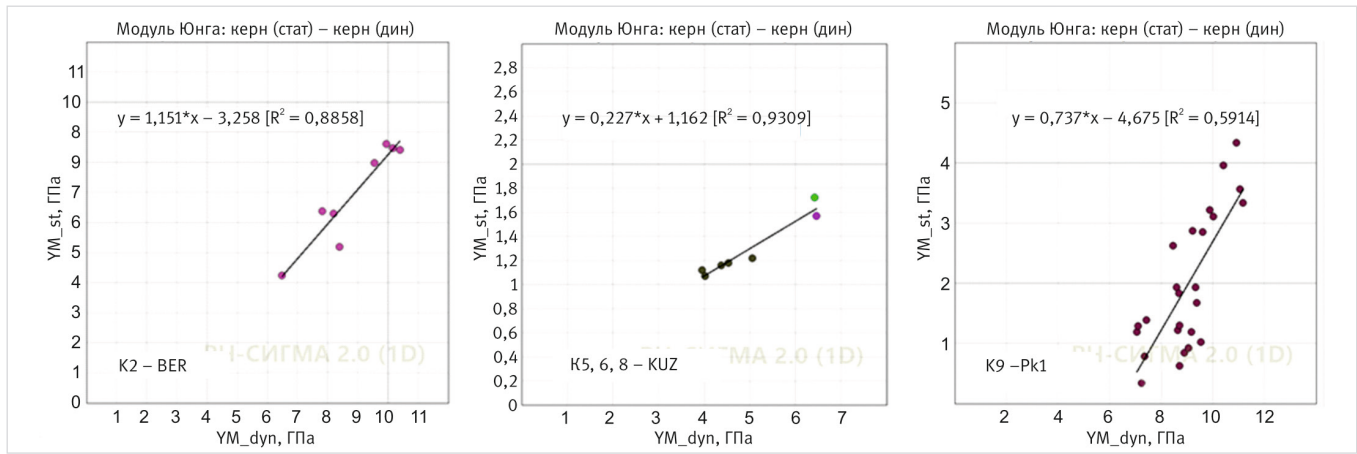


Рис. 3. Корреляционные зависимости для расчета статического модуля Юнга для механических фаций K2, K5, K6, K8 и K9  
Fig. 3. Correlation dependencies for calculating the static Young's modulus for mechanical facies K2, K5, K6, K8 and K9

и давления сдвигового разрушения с использованием каротажных данных и данных анализа кернового материала. Полученные значения давлений и компонент тензора напряжений калибруются на основе геологических данных, а также информации, полученной в ходе бурения.

Построение одномерных геомеханических моделей для опорных скважин, как правило, выполняется с использованием изотропной или анизотропной поропругой модели [4]. На основе результатов 1D-моделирования на следующем этапе работ с использованием геологической модели строятся секторные 3D геомеханические модели [5]. На заключительном этапе выполняется расчет устойчивого состояния стволов проектных скважин, выдаются рекомендации по минимизации рисков потенциальных осложнений в процессе бурения. Рекомендации оформляются в формате карты рисков.

В связи с низким охватом целевого объекта исследованиями АКШ (рис. 5) на скважинах с наличием стандартного комплекса ГИС и времени пробега продольной волны использована синтетическая модель для восстановления динамических упругих свойств при помощи модуля нейронных сетей. Эта операция проведена на основе анализа данных стандартного комплекса ГИС (гамма, нейтронного, акустического каротажа и каротажа сопротивления), а также характера насыщения с контролем значений в интервале разрушенной части ствола по данным каверномера.

На следующем этапе ко всем скважинам, содержащим синтетический акустический каротаж, была применена операция многоскважинной кластеризации, в которую для контроля были включены также исходные опорные скважины. По опорным скважинам проводился контроль точности кластеризации. Далее все скважины с синтезированными данными будем называть синтетическими опорными скважинами. Точность кластеризации оказалась достаточной для практического применения. При этом в результате было получено не менее 4 синтетических опорных скважин на каждом целевом участке месторождения. Эти скважины далее были использованы как исходные данные для распространения динамических упругих свойств по структурному каркасу.

На этапе распространения динамических упругих свойств в пространстве использован стохастический метод с учетом вертикальных рангов вариограмм

на основе анализа скважинных данных и горизонтальных рангов, настроенных по результатам детального анализа по скважинам, наиболее близко расположенным друг от друга (на расстоянии 100–1000 м). С учетом проведенного анализа в модели использованы горизонтальные ранги вариограмм 500 м по главному и второстепенному направлению. Результаты моделирования — кубы модуля Юнга и коэффициента Пуассона — приведены на рисунке 6 на примере одного из секторов. Для наглядности приведен срез куба по одному из слоев.

На завершающем этапе результаты 3D геомеханического моделирования верифицированы на данные бурения: выполнен расчет устойчивости ствола пробуренных горизонтальных скважин [6]. Результаты моделирования подтверждаются данными бурения (в соответствии с полученными суточными рапортами и отчетами сервисных подрядчиков) и анализом фактической кавернометрии. Отмечено снижение количества геологических осложнений при бурении горизонтальных скважин.

Отдельно отметим, что разработанная 3D геомеханическая модель выполнена в соответствии с типовыми требованиями ПАО «НК «Роснефть» и является постоянно действующей, по мере поступления новых исходных данных производится ее актуализация.

#### Оптимизация процесса бурения

На этапе проектирования скважины на основании разработанной геомеханической модели и полученных расчетов устойчивости ствола оценивается безопасность применяемой конструкции, выдаются необходимые рекомендации.

Карта управления рисками представляет собой документ, объединяющий в себе расчет устойчивости ствола скважины с нанесенной рекомендуемой статической плотностью бурового раствора и рассчитанной эквивалентной циркуляционной плотностью (ЭЦП) [7], глубины и характер рисков осложнений при бурении, рекомендации к параметрам промывочных жидкостей и режимам бурения. Пример планшета с выделенными интервалами потенциальных осложнений, используемого для карты управления рисками, представлен на рисунке 7.

На карте для каждого интервала выделяются следующие типы рисков:

- риск обрушения ствола скважины: эквивалент градиента обрушения превышает

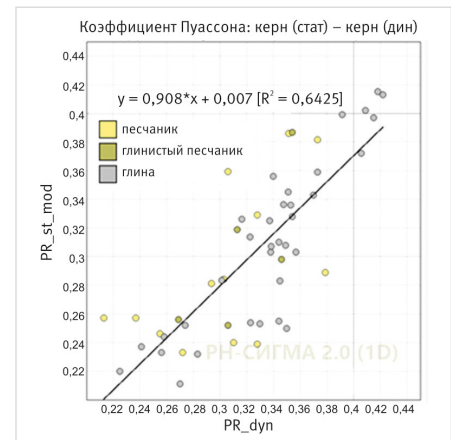


Рис. 4. Корреляционная зависимость для расчета статического коэффициента Пуассона  
Fig. 4. Correlation dependence for calculating the static Poisson's ratio

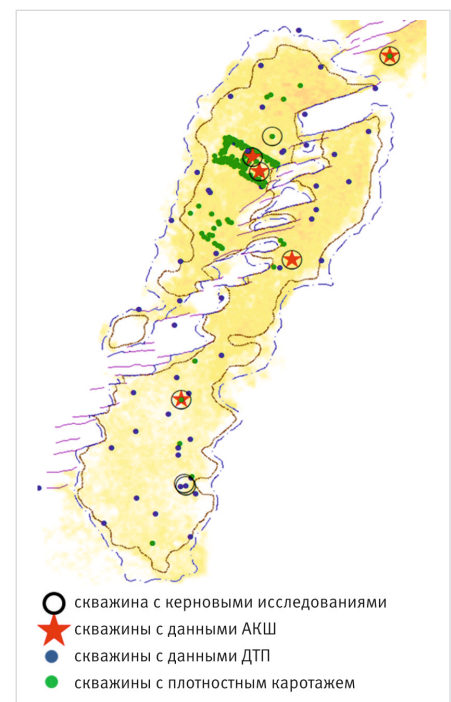


Рис. 5. Наличие исходных данных на месторождении  
Fig. 5. Availability of initial data at the field

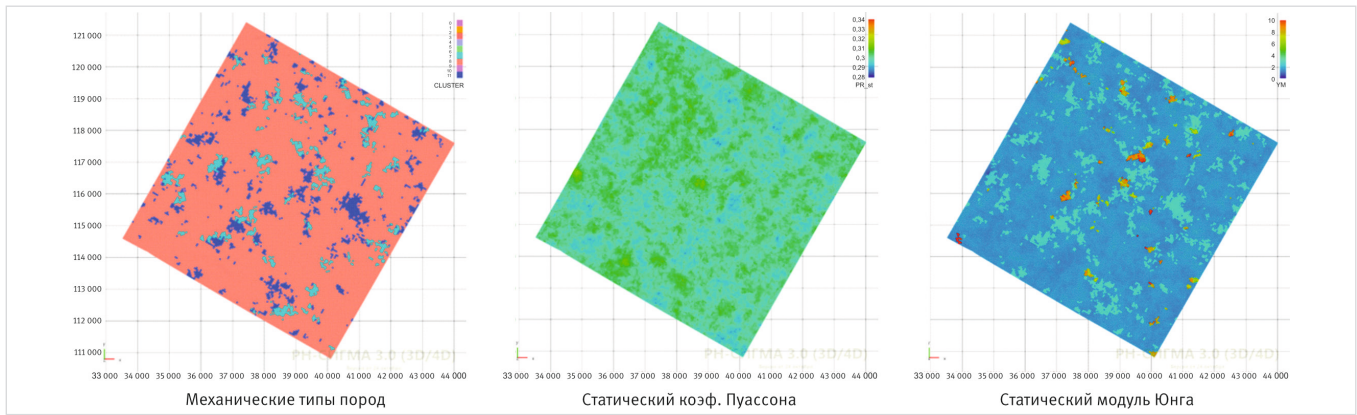


Рис. 6. Распределение статических упругих свойств в соответствии с механическими фациями  
 Fig. 6. Distribution of static elastic properties according to mechanical facies

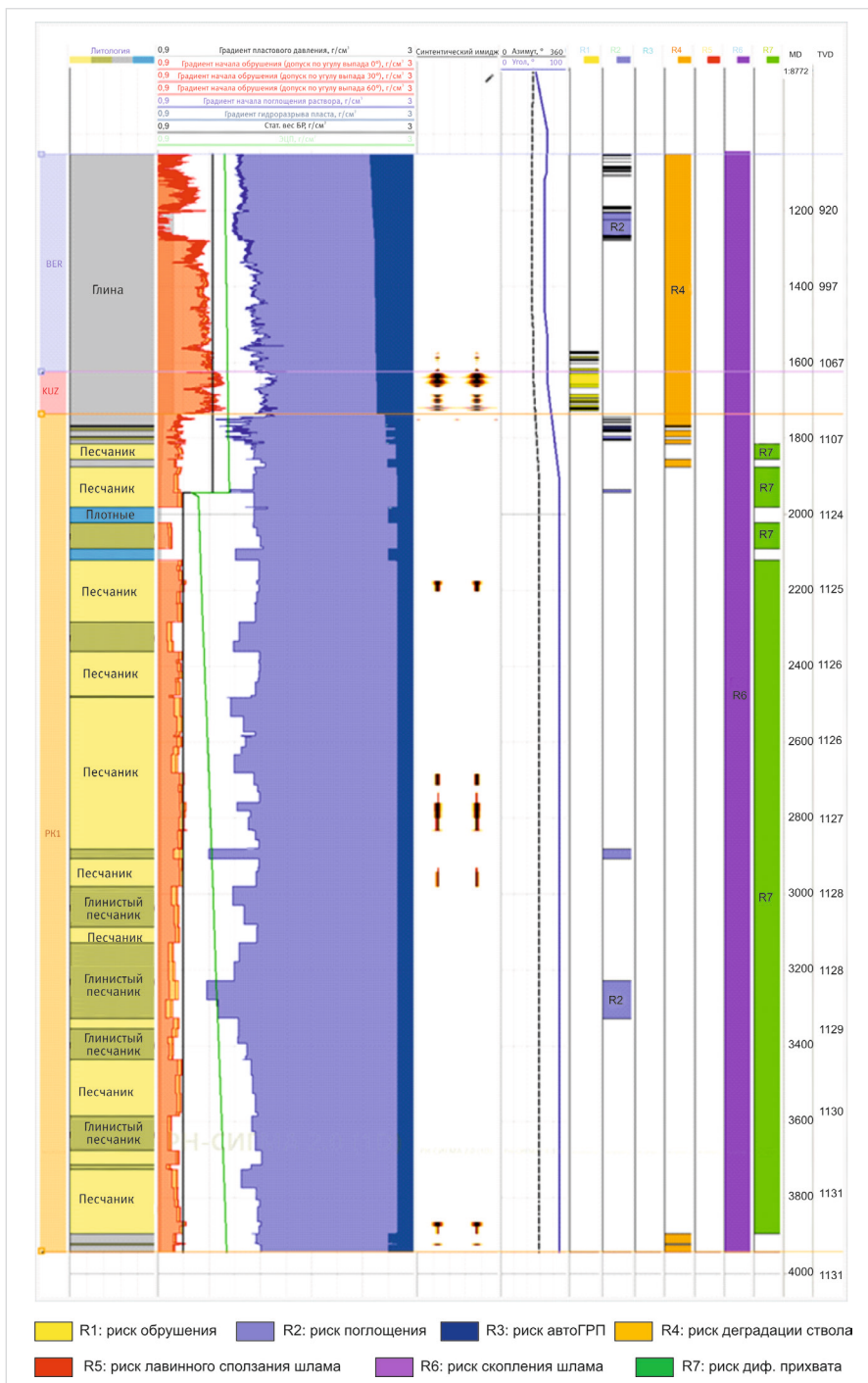


Рис. 7. Планшет для карты управления рисками  
 Fig. 7. Risk management map tablet

статическую плотность бурового раствора или ЭЦП при спуско-подъемных операциях (СПО);

- риски поглощения бурового раствора: ЭЦП при бурении или промывке превышает эквивалент градиента поглощения;
- риски получения авто-ГРП: ЭЦП при бурении или промывке превышает эквивалент градиента гидроразрыва пласта;
- риски деградации ствола скважины: расслаивание глинистых пород с тонкой слоистостью под действием гидравлических воздействий;
- риски скопления и лавинного сползания шлама: стволы с зенитным углом более 40°, недостаточная очистка от выбуренного шлама;
- риски дифференциальных прихватов: протяженные интервалы (не менее 10 м) высокопроницаемых песчаников покурской свиты.

Для каждого из типов рисков указываются действия для его предотвращения и действия при его возникновении. В случае фиксации осложнений в процессе строительства скважины проводится дополнительный постбуровой анализ, который включает:

- построение геомеханической модели с использованием фактического профиля и записанной ЭЦП при бурении;
- анализ режимов бурения и СПО, а также параметров используемых промывочных жидкостей;
- выявление вероятных причин осложнения и выдачу рекомендаций по их минимизации.

Таким образом, с учетом согласованных проектных профилей стволов скважин выполняется комплекс геомеханических и инженерных расчетов с последующим формированием карт управления рисками, которые используются для формирования индивидуальных программ на бурение, а также программ сервисных подрядчиков.

### Заключение

Применение моделирования на основании механических фаций показало хорошую прогнозную способность в коллекторах с высокой расчлененностью и высоким контрастом механических свойств. Основное преимущество такого подхода состоит в более точном описании разреза с точки зрения моделирования напряженного состояния пласта, а следовательно, и более достоверном прогнозировании рисков, связанных с геологическим строением месторождения. В качестве рекомендации по развитию

подхода стоит упомянуть увеличение объема ядерных исследований для более точного прогноза, а также изменение подхода к выбору интервалов исследования ядра не только на основании литологии, но и на основании колонки механических фаций.

Отдельно хочется также отметить, что для сложнопостроенных коллекторов рассмотренного типа рекомендуется использовать постоянно действующую геомеханическую модель, чтобы учитывать риски возникновения проблем при бурении в областях с измененным поровым давлением.

### Итоги

Комплексный подход к геомеханическому моделированию для целей оптимизации процессов бурения на этапе планирования скважин показал высокую эффективность. Для объектов, бурение на которых сопровождается рисками геологических осложнений, рекомендуется использовать постоянно действующую геомеханическую модель.

### Выводы

Результаты работы позволяют:

1. определить безопасное окно плотности

бурового раствора и рекомендовать оптимальные параметры промывочных жидкостей, оценить безопасность планируемой траектории и конструкции скважины; 2. определить интервалы и типы рисков при бурении скважины, разработать мероприятия для их предотвращения;

3. минимизировать риски осложнений при строительстве скважин за счет составления индивидуальных программ на бурение с учетом выданных рекомендаций.

Предложенный комплексный подход принят к использованию при построении геомеханических моделей также и на других объектах ПАО «НК «Роснефть».

### Литература

1. Ардисламова Д.Р., Кадырова К.Р., Сыпченко С.И. и др. Использование методов кластеризации при моделировании гидроразрыва пласта // Нефтяное хозяйство. 2022. № 11. С. 112–117.
2. Собакарь М.В., Файзуллина А.Р., Денисов В.В., Абушаев Р.Н. Определение оптимальной глубины проводки горизонтальных скважин при разработке

тонких нефтяных оторочек со сложным геологическим строением // Экспозиция Нефть Газ. 2023. № 5. С. 52–56.

3. Kim Дж.-О., Мьюллер Ч.У. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1989. Олдендерфер М.С., Блэшфилд Р.К. Кластерный анализ. С. 139–215.
4. Zoback M.D. Reservoir Geomechanics. USA, Cambridge University Press Inc., 2010. 461 p. URL: <https://www.amazon.com/reservoir-geomechanics-mark-D-Zoback/dp/0521146194> (дата обращения: 11.12.2024). (In Eng).
5. Баклашов И.В. Геомеханика. Т. 1. Основы геомеханики. М.: Издательство МГГУ, 2004. 208 с.
6. Ардисламова Д.Р., Давлетова А.Р., Закирзянов Ш.И. и др. Расчет напряженного состояния на участке Северо-Комсомольского месторождения с использованием нового корпоративного 3D-симулятора РН-СИГМА // Экспозиция Нефть Газ. 2023. № 3. С. 38–43. Маковой Н. Гидравлика бурения. М.: Недра, 1986. 536 с.

## ENGLISH

### Results

The integrated approach to geomechanical modeling for the purposes of optimization of drilling processes at the well planning stage has shown high efficiency. For sites where drilling involves geological exploration risks, it is recommended to use a permanent geomechanical model.

### Conclusions

Job performance allows:

1. Determine the safe mud density window and recommend optimal

parameters of drilling fluids, evaluate the safety of the planned trajectory and well design.

2. Identify the intervals and types of risks while drilling, and work out measures to prevent them.
3. Minimize the risks of complications during well construction by drawing up individual drilling programs taking into account the recommendations issued.

The proposed integrated approach has been adopted for use in building geomechanical models also at other of the Company's projects.

### References

1. Ardislamova D.R., Kadyrova K.R., Syptchenko S.I. et al. Using clustering methods in hydraulic fracturing modeling. Oil Industry, 2022, issue 11, P. 112–117. (In Russ).
2. Sobakar M.V., Faizullina A.R., Denisov V.V., Abushaev R.N. Optimal depth determination of the horizontal wells drilling in the development of thin oil rims with a complex geological structure. Exposition Oil Gas, 2023, issue 5, P. 52–56. (In Russ).
3. Kim J.-O., Muller Ch.U. Factor, discriminant and cluster analysis. Moscow: Finansy i statistika Publ., 1989, Oldenderfer M.S., Bleshfil R.K. Cluster Analysis, P. 139–215. (In Russ).
4. Zoback M.D. Reservoir Geomechanics. USA, Cambridge University Press Inc., 2010. 461 p. URL: <https://www.amazon.com/Reservoir-Geomechanics-Mark-D-Zoback/dp/0521146194> (accessed 11.12.2024). (In Eng).
5. Baklashov I.V. Geomekhanika. T. 1. Fundamentals of Geomechanics. Moscow: MGGU, 2004, 208 p. (In Russ).
6. Ardislamova D.R., Davletova A.R., Zakirzyanov Sh.I. et al. Calculation of the Stress State at the Severo-Komsomolskoye Field Using the New Corporate 3D Simulator RN-SIGMA. Exposure Oil Gas, 2023, issue 3, P. 38–43. (In Russ).
7. Makovei N. Drilling Hydraulics. Moscow: Nedra, 1986, 536 p. (In Russ).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Федоров Александр Игоревич**, к.ф.-м.н., эксперт аналитического отдела, ООО «РН-БашНИПНефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Уфа, Россия

**Fedorov Alexandr Igorevich**, ph.d. of physico-mathematical sciences, expert of analytical department, “RN-BashNIPneft” LLC (“Rosneft” PJSC Group Company), Ufa, Russia

**Кузнецов Сергей Александрович**, главный специалист сектора сопровождения геомеханических моделей, ООО «РН-БашНИПНефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Уфа, Россия  
Для контактов: [sa\\_kuznetsov21@bnipi.rosneft.ru](mailto:sa_kuznetsov21@bnipi.rosneft.ru)

**Kuznetsov Sergey Alexandrovich**, chief specialist, geomechanical model support sector, “RN-BashNIPneft” LLC (“Rosneft” PJSC Group Company), Ufa, Russia  
Corresponding author: [sa\\_kuznetsov21@bnipi.rosneft.ru](mailto:sa_kuznetsov21@bnipi.rosneft.ru)

**Ардисламова Диана Рамилевна**, главный технолог сектора сопровождения геомеханических моделей, ООО «РН-БашНИПНефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Уфа, Россия

**Ardislamova Diana Ramilievna**, chief technologist, geomechanical model support sector, “RN-BashNIPneft” LLC (“Rosneft” PJSC Group Company), Ufa, Russia

**Давлетова Алия Рамазановна**, эксперт сектора сопровождения геомеханических моделей, ООО «РН-БашНИПНефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Уфа, Россия

**Davletova Aliya Ramazanovna**, expert of geomechanical models support sector, “RN-BashNIPneft” LLC (“Rosneft” PJSC Group Company), Ufa, Russia

**Хакимов Айнур Альбертович**, главный специалист отдела геологического сопровождения бурения скважин, ООО «СевКомНефтегаз», Губкинский, Россия

**Hakimov Ainur Albertovich**, chief specialist, department of geological support of drilling, “SevKomNeftegaz” LLC, Gubkinsky, Russia