

1 Программный комплекс проверочного расчета и оптимального выбора (проектирования) обсадных колонн для нефтяных и газоконденсатных и скважин

Комплекс включает две программы (Proekt_Obs_Kol и Prover_Obs_Kol), предназначен для автоматизированного расчета оптимального состава обсадных колонн, соответствующих горно-геологическим и техническим условиям в скважине в разные периоды ее работы (от спуска колонн до окончания эксплуатации скважины). В комплексе в виде блока включена программа Davlenie для определения величины наружных и внутренних давлений на разных стадиях работы обсадной колонны, давлений опрессовки колонн.

Расчеты производятся по наиболее приближенному к реальности напряженному состоянию колонн на различных стадиях крепления, испытания и эксплуатации скважин, с возможностью учета сероводородной и углекислой агрессии.

Расчет напряженного состояния обсадных труб осуществляется по «одноосной» или, по желанию Пользователя, по «двухосной» схеме (на основе энергетической теории Мезеса) с учетом взаимовлияния осевого растяжения (сжатия) труб и их изгиба в искривленной скважине на допустимые сминающие давления. При расчете обсадных труб на прочность учитывается наличие высокопластичных и многолетнемерзлых пород по различным моделям, в том числе по принятой в институте «Тюмениигипрогаз» для условий безусловного сохранения целостности эксплуатационной колонны в условиях возможного циклического промерзания крепи. В программе рассчитываются силы и напряжения, действующие при движении колонны как вниз, так и (при необходимости) вверх (условия приподъема).

При расчете и выборе параметров труб промежуточных колонн возможен учет влияния на величину критического внутреннего давления абразивного

износа внутренней поверхности труб бурильными колоннами или резцами долота с указанием Пользователем формы и размера выработки. Для эксплуатационных колонн может быть учтено влияние коррозии стали в период эксплуатации скважины. При проектировании и в проверочном расчете обсадных колонн учитывается установка фильтров в нескольких интервалах.

Программный комплекс позволяет проектировать или проверять возможность спуска и допустимую прочность выбранной номенклатуры обсадных колонн, в том числе в экстремальных условиях (при большом отходе ствола от вертикали в горизонтальных скважинах, его интенсивном искривлении, при высокой температуре), при оснащении колонны упругими центрирующими устройствами разной жесткости. Проверочный расчет позволяет просчитать возможность спуска колонн в экстремальных условиях с использованием специальных приемов (наполнения воздухом части колонны).

Программная оптимизация состава обсадной колонны может производиться по желанию Пользователя по приоритету минимизации ее веса в пределах задаваемого диапазона типоразмеров труб (толщин стенок, марок стали, типов резьбовых соединений отечественных и импортных труб и их класса), по приоритету отечественных или импортных труб, по приоритету типа резьбового соединения, по приоритету толщины стенок.

Приоритетность выбора труб устанавливается порядком ввода труб с определенной толщиной стенки, группы стали, типа резьбы. Программа позволяет осуществить оптимальный выбор секций труб из выделенного ряда труб различных производителей (отечественных, зарубежных), с различными типами резьбы. Программа также позволяет отобрать из всей номенклатуры трубы для специальных условий работы (преимущественно сероводородной или преимущественно кислой агрессии, в арктическом исполнении, для высоких сминающих давлений, для продуктивной зоны) и включить их в автоматизированный прочностной расчет обсадной колонны.

Программа позволяет включать установку утолщенных труб на заданную глубину в устьевой части колонны с целью обеспечения надежности этой части крепления, несмотря на ее абразивный износ.

В результате расчета определяется состав колонны по секциям, коэффициенты запаса прочности по всем основным видам нагружений, все виды давлений, действующих на трубы в различные периоды ее работы, давления опрессовки и другие данные, необходимые для выбора технологии крепления скважины. В конечной таблице по желанию Пользователя высвечиваются нормативные значения коэффициентов запаса прочности по всем видам нагружений. Таблица результатов прочностного расчета обсадной колонны может конвертироваться в таблицы Office и корректироваться Пользователем до требуемой формы (заголовки, порядок колонок, наименование таблицы и др.).

Приводятся данные по взаимодействию обсадной колонны со стенками скважины при ее спуске в виде графика и таблицы величин радиальных сил на каждой муфте, нагрузке на крюке при движении колонны вниз или вверх, производится расчет натяжения колонны при эксплуатации, освоении.

В программе имеется вспомогательный блок для графического и табличного отображения трассы скважины в виде проекции на горизонтальную и вертикальную плоскость в любом азимуте. Определяется полный комплект траекторных параметров любой точки оси скважины (координат, зенитного, азимутального угла, пространственной кривизны, дирекционного угла) и скважины в целом. Расчет трассы скважины производится по нескольким методикам, в том числе с использованием принятого в мировой практике метода «минимума кривизны».

Расчет напряженно-деформированного состояния колонны производится с использованием различных методов, для определения осевых нагрузок, изгибающих напряжений используется преимущественно «метод продолжения», для расчета предельных давлений при дефектах формы трубы – метод конечных элементов.

Расчет может производиться сразу для всех колонн, спускаемых в скважину или для любой отдельной колонны. Программа позволяет определить крутящий момент, необходимый для проворачивания обсадной колонны в скважине (в случае острой необходимости), и сравнить его с допустимым крутящим моментом для конкретного типа резьбовых соединений обсадных труб.

Методическая основа расчетов – действующая Инструкция по расчету обсадных колонн (2000 г.), Инструкция по расчету обсадных колонн для горизонтальных скважин (2000 г.). Данные по критическим давлениям смятия и растягивающим нагрузкам для резьбовых соединений всех типоразмеров труб взяты из Инструкций или фирменных каталогов. Напряжения изгиба рассчитываются по наименьшему сечению трубы в зоне первой нитки резьбы.

2 Программный комплекс расчета бурильных колонн

Включает программу проверочного расчета установленного состава бурильной колонны Prover_Bur_Kol и программу выбора оптимального состава (проектирования) бурильных колонн Proekt_Bur_Kol, используемых для бурения и восстановления глубоких скважин с различными профилями при разных способах бурения. Программный комплекс предназначен для выбора оптимального состава комплекта бурильных труб, обеспечивающего безаварийное бурения (в части аварии с бурильной колонной) всех интервалов скважины.

Программный комплекс также служит для проверки соответствия выбранной бурильной колонны условиям бурения, в том числе при реализации форсированных режимов бурения. С помощью программы оценивается возможность применения различных технологий бурения, решение вопросов предотвращения и ликвидации аварий с бурильной колонной, а также вопросы бурения горизонтальных скважин, в том числе передачи нагрузки на долото при большом отходе забоя от вертикали, работы бурильной колонны в условиях значительной кривизны ствола и др.

Прочностные расчеты осуществляются в соответствии с действующими нормативными материалами по наиболее приближенному к реальности напряженному состоянию колонн, в том числе с учетом взаимодействия каждой трубы бурильной колонны со стенками скважины. Проектируемая колонна может состоять как из стальных труб разного диаметра, так и легкосплавных труб и их комбинаций, в том числе установки ЛБТ в составе компоновки низа бурильной

колонны. Программа сигнализирует о затруднении в обеспечении требуемой нагрузки на долото в горизонтальных скважинах, производит расчет с установкой утолщенных бурильных труб или УБТ в верхней части бурильной колонны для достижения спуска колонны на заданную глубину и требуемых режимов бурения. При расчете учитывается начисленный износ труб (класс), качество изготовления резьбовых соединений замков, влияние агрессивной среды, температуры в скважине и т. п. По желанию Пользователя рассчитываются динамические (инерционные) нагрузки при ускорении (замедлении) осевого движения бурильных колонн в процессе спуско-подъемных операций в глубоких скважинах, что позволяет предотвратить обрывы колонны при спуске-подъеме тяжелых колонн.

При наличии сжатого участка бурильных труб (например, при бурении горизонтальных скважин, при использовании труб малой жесткости) производится оценка возможного пространственного (спирального, волнообразного) отклонения оси труб относительно оси скважины. В ряде случаев такой расчет заметно корректирует данные расчета бурильных колонн по общепринятой методике. Проверяется соответствие по жесткости компоновки низа бурильной колонны спускаемой обсадной колонне и задаваемой нагрузке на долото, даются рекомендации по требуемому диаметру УБТ и общей длине компоновки, производится проверка прочности резьбовых соединений утяжеленных бурильных труб.

В программе имеется вспомогательный блок для графического и табличного отображения трассы скважины в виде проекции на горизонтальную плоскость и вертикальную плоскость с любым заданным азимутом, полного комплекта траекторных параметров любой точки оси скважины. Этот блок может использоваться автономно для проверки соответствия фактической трассы проектной, определения отклонения трассы ствола скважины от проектной.

Программа позволяет определить взаимодействие бурильной колонны со стенками скважин, усилия прижатия замков труб к стенкам ограничивающего пространства, зоны наиболее вероятного образования желобов. В программе Prover_Bur_Kol модификации Y имеется блок для определения работы

взаимодействия бурильной колонны со стенками скважины при всех видах работ в стволе (спуско-подъемных операциях, углублении ствола, проработках и промывках) с учетом вращения труб или его отсутствия, проходки на долото, механической скорости проходки, частоты вращения бурильной колонны. По накопленной работе бурильной колонны по стенкам скважины в каждой точке ствола с учетом твердости породы оценивается объем породы, разрушенной бурильной колонной. Программа позволяет оценить эффективность мероприятий по предотвращению образования опасных желобов путем изменения способа и режимов бурения, показателей работы долота, корректировки конструкции скважины и состава бурильной колонны. Программа также позволяет рассчитывать технологию ликвидации уже образовавшихся желобов.

Программная оптимизация состава бурильной колонны производится по приоритету минимизации ее веса в пределах заданного пользователем диапазона планируемых к использованию труб (типоразмеров труб, толщин стенок, марок стали отечественных и импортных труб и их износа). Вместе с тем, устанавливая определенный порядок ввода и диапазон типоразмеров труб, пользователь может реализовать другой подход к выбору состава бурильной колонны. Пользователь может задавать предполагаемое размещение в колонне легкосплавных труб.

Программный комплекс позволяет решать вопросы бурения экстремальных по профилю скважин, в том числе определять возможность спуска бурильной колонны, передачи требуемой нагрузки на долото в горизонтальных скважинах. Программа сигнализирует о проблемах, которые могут возникнуть при выбранном составе бурильной колонны при бурении скважин со сложным профилем, и подсказывает пути решения проблемы, в том числе установка тяжелых труб в отвесной части скважины, снижение коэффициента трения между трубами и стенками скважины и другое. Программы позволяют определить оптимальный общий состав бурильной колонны для бурения всех интервалов скважины при различных условиях работы (по способу и режиму бурения, моментоемкости долот, характеристике пород).

Особенностью программы проверочного расчета бурильной колонны

является наличие специфических функций, отсутствующих в программе проектировании бурильной колонны. К ним относится возможность с помощью программы определять с достаточно высокой точностью место прихвата колонны, допустимые силовые воздействия на бурильную колонну при ликвидации прихватов в конкретных условиях, в том числе сочетание натяжения и закручивания ротором (отбивку) с учетом реального состава и износа труб и взаимодействия колонны со скважиной. Кроме того, указанная программа позволяет рассчитывать на прочность бурильные трубы, данные о которых отсутствуют во встроенной базе данных по бурильным трубам.

3 Программный комплекс аэро- гидродинамических и гидростатических расчетов процессов бурения Promuv

Программный комплекс аэро- гидродинамических и гидростатических расчетов процессов бурения Promuv для нормальных и аномальных горно- геологических условий предназначен для решения широкого комплекса задач:

- проверки или выбора плотности бурового раствора с учетом требований безопасности, в том числе предотвращения проявлений пластового флюида как в статике, так и в процессе промывки, предотвращения поглощения, гидроразрыва пластов;
- выбора соотношения жидкости и газа в газированном буровом растворе при давлениях, ниже гидростатического, удовлетворяющего условиям бурения при аномально низких давлениях;
- выбора требуемой оптимальной производительности насосов при выполнении различных работ в скважине (бурении сплошным забоем, отборе керна, расширении ствола скважины, промывки ствола) с учетом обеспечения работы выбранного забойного двигателя в оптимальном режиме при заданной нагрузке на долото, его типе и др., гидромониторной промывки забоя;
- определения качества выноса шлама разных размеров, конфигурации и предотвращения его скопления в стволе скважины,

- расчета допустимого давления на насосах при работе с определенными втулками;
- определения подходящего типа насоса (при необходимости), количества насосов, диаметра втулок, числа ходов поршней в минуту;
- оптимального диаметра гидромониторных насадок;
- определения процесса движения вверх газированной пачки и возникновения выброса бурового раствора и последующего – пластового флюида;
- достаточности плотности бурового раствора для предотвращения выброса при отсутствии промывки скважины;
- допустимый объем закачки нефти в скважину при ликвидации прихватов по условиям недопущения проявления пластового флюида.

Программный комплекс позволяет решить максимально широкий круг технологических, гидроаэромеханических задач процессов промывки скважины, как при использовании гомогенных жидкостей, так и для аэрированных систем, пен и (при необходимости) бурения с продувкой газом.

Программа содержит пополняемую базу современных отечественных и зарубежных забойных двигателей (в настоящее время база включает 370 типоразмеров забойных двигателей), буровых насосов с их энергетическими характеристиками, параметры применяемых бурильных и обсадных труб, долот, насадок.

В программе имеется вспомогательный блок для графического и табличного отображения трассы скважины и траекторных параметров любой точки оси скважины, графики, характеризующие скорость движения шлама по стволу и его содержание в промывочном агенте, также схематическое изображение скважины с возможностью демонстрации основных технологических параметров промывки скважины в любой точке скважины.

При расчете потерь давления может быть учтено наличие кабеля телеметрической системы в бурильных трубах, перепускных переводников в забойных двигателях и при отборе керна. Гидравлические расчеты производятся

с учетом специфики бурения (углубления) скважины, расширения ствола, отбора керна, промывки скважины без углубления, наличия гидравлического сопротивления (штуцеров) на устье скважины.

Программа по окончании ее прохождения информирует пользователя о несоответствии (если оно имеется) рассчитанного процесса промывки, горно-геологическим и технологическим условиям бурения по следующим параметрам:

- по расходу, плотности, степени аэрации, реологическим показателям;
- по моменту на забойном двигателе для работы долота в оптимальном режиме;
- по гидростатическому и гидродинамическому давлению на стенки скважины, условиям предотвращения проявлений пластовых флюидов;
- по допустимому давлению на насосах;
- по выносу шлама, обеспечению качественной гидромониторной промывки.

При этом программно указываются необходимые оптимальные параметры промывки или пути решения проблемы.

В программе учтено растворение и выделение газа из жидкости при применении аэрированных систем с учетом изменением давления и температуры, плотности и реологических свойств промывочного агента в соответствии с действующим на него давлением. В программе имеется блок расчета движения газированной пачки бурового раствора и процесса возникновения проявления и выброса, изменения ситуации в скважине при создании противодействия на устье и др. Этот блок может использоваться для решения вопросов предотвращения нефтегазоводопроявления.

Программа формирует табличную и графическую информацию, с достаточной полнотой отображающую исходные данные и результаты расчета для приложения к технологической или проектной документации, а также для принятия оперативных решений по промывке скважины.

По желанию пользователя могут быть использованы модели вязко-пластичной или степенной модель жидкости. Реологические параметры жидкости могут вводиться Пользователем или определяться программно на основе имеющихся в программе данных, основанных на статистической обработки

научной и производственной информации о реологии различных промывочных систем.

4. Программный комплекс расчета оптимального центрирования обсадных колонн CentrirOK

Позволяет определить по ряду критериев рациональное и безопасное размещение центраторов обсадных колонн в конкретных условиях крепления скважины. Оптимизационные критерии:

- обеспечение зазора между трубами и стенкой скважины, определяемого из условий полного вытеснения бурового раствора тампонажным;
- силы взаимодействия между колонной с набором центраторов и стенками скважины не должны препятствовать движению обсадной колонны с центраторами в стволе скважины;
- допустимая нагрузка на крюке и напряжения в обсадной колонне, усилия на центраторах не должны превышать допустимых значений.

Программа включает блок гидравлических расчетов по определению минимального зазора между обсадными трубами и стенкой скважины, при котором обеспечивается полное вытеснение промывочной жидкости цементным раствором по всему сечению эксцентрического или осесимметричного затрубного пространства при различных параметрах промывочной и тампонажной системы, наклоне оси скважины, геометрии канала.

Блок напряженно-деформированного состояния обсадной колонны позволяет определить реальные зазоры между обсадными трубами и стенками скважины на разных участках обсадной колонны в скважине с заданной трассой при установке центраторов различных типов (упругих, жестких) на разном расстоянии друг от друга, рассчитывать напряжения в обсадных трубах и нагрузку на крюке.

При несоответствии различных критериев центрирования скважин заданным (например, по условиям движения обсадной колонны с гирляндой центраторов, предельной нагрузке на крюке) осуществляется изменение расположения

центраторов (уменьшение их числа) по определенному ранжиру требований до достижения первоочередных условий процесса крепления скважины.

По заданным установочным и ограничительным критериям определяется оптимальное размещение центраторов, удовлетворяющее как условиям получения концентрического цементного кольца, так и условиям безопасного спуска обсадной колонны в скважину.

5. Программный комплекс прочностного и траекторного расчета компонок низа бурильной колонны

Комплекс включает 3 программы: KNBK-Rotor, KNBK-Motor и KNB-Otkolnit.

Программы предназначены для выбора состава компоновки низа бурильной колонны (КНБК), обеспечивающего бурение в заданном направлении с учетом влияния горно-геологических факторов на формирования скважины, и детализированной проверки на прочность элементов компоновки при работе в заданных условиях.

Особенностью и мировой новизной программного комплекса является использование методики расчета влияния технологических и геологических факторов на искривление скважин в эквивалентных единицах. Это позволяет оценить возможности регулирования трассы скважины технологическими приемами в условиях сильного влияния горно-геологических условий.

При оценке траекторных характеристик компоновки ее напряженное состояние, наклон оси долота к оси скважины на забое, вектор нагрузки на забой определяются с учетом:

- осевой нагрузкой на долото, частоты вращения компоновки;
- наружных габаритов компоновки, расположением, формой опорно-центрирующих элементов, зазорами между ними и стенками скважины;
- люфтом вала забойного двигателя при их использовании;
- кривизны оси призабойной части скважины (обычно в интервале от забоя до 30...40 м выше), оказывающей влияние не только на напряженно-деформированное состояние КНБК, но и определяющей траекторию движения верхнего конца направляющего участка (участка между долотом и первыми

точками касания трубами компоновки стенки скважины) при углублении скважины;

- размеров и формы сечения скважины;
- конструкции долота, в том числе соотношения его способности разрушать породу в осевом и боковом направлении, характеризуемой коэффициентом боковой фрезерующей способности долота;
- моментомкости долота, в значительной мере оказывающей влияние на проявление таких геологических факторов, как ассиметричное разрушение забоя, возникновение отклоняющей силы геологического происхождения.

Основой для оценки влияния геологических факторов на искривление скважины при использовании программ являются следующие параметры:

- геометрические характеристики геологической структуры (угол наклона пластов по всему разрезу, азимут падения/восстания пластов);
- положение скважины на структуре (в крыльевой, перекинальной или сводовой части складки), азимут скважины;
- проявление анизотропии механических свойств разбуриваемых отложений, признаками которого могут быть наличие плоскостей делимости, слоистости, кливажа, трещиноватости, обобщенно характеризующееся в программном комплексе литологическим составом разбуриваемых пород.

Рассчитываемая КНБК может включать помимо утяжеленных различные виды труб, в том числе легкосплавные, бурильные, забойные двигатели отечественного и зарубежного производства (турбобуры, винтовые двигатели), опорно-центрирующих устройства, в том числе эксцентрические и осесимметричные центраторы. С помощью программ определяется наиболее эффективное размещение опорно-центрирующих устройств для решения таких задач, как безориентированное ограничение искривления скважины, малоинтенсивный набор и снижение зенитного угла, его стабилизация в условиях сильного влияния геологических факторов, а также эффективность применения в компоновке труб специального назначения (УБТ увеличенного диаметра, "гибких" звеньев компоновки), их размеры и местоположение.

Прочностные расчеты компоновок выполняются с учетом наиболее полного набора факторов, влияющих на их напряженное состояние. Наименее прочным сечением УБТ и забойных двигателей при работе в искривленных участках скважины являются их резьбовые соединения. При расчетах учитываются такие факторы, как упрочнение резьбы и ее натяг при свинчивании инструмента, масштабный фактор, влияние агрессивной среды. Основные действующие нагрузки в резьбовом соединении: растяжение ниппельной части от предварительной затяжки резьбы, изгиб от кривизны скважины и нагрузки на долото, сжатие металла от этой нагрузки. Такие расчеты особо существенны для решения задач бурения участков скважины большой кривизны, особенно инструментом малого и большого диаметра, использования форсированных режимов бурения.

Определяется направление формирования забоя скважины и дается оценка ожидаемой интенсивности искривления скважины. Исходные данные и результаты расчетов формируются в виде таблиц, графиков, текстового материала:

С помощью программ решаются задачи сравнительной оценки технологической эффективности по регулированию трассы скважины различных компоновок и отбора наиболее соответствующих заданным требованиям. Некоторые задачи (выбор компоновок для предотвращения искривления скважин, безориентированного набора и снижения зенитного угла скважины) могут решаться без введения геологических данных.

6. Программный комплекс Vibro расчета процессов колебания бурильной колонны

Программа Vibro расчета процессов колебания бурильной колонны в призабойной зоне и на устье скважины предназначен для оценки амплитуды колебаний и сил, действующих в призабойной и устьевой части бурильной колонны в процессе бурения и принятия решений по эффективному снижению этих колебаний. Программный комплекс позволяет учесть основные факторы, влияющие на колебания бурильной колонны, в том числе состав бурильной

колонны, типоразмер долота, твердость породы, режим бурения, параметры и места размещения буровых амортизаторов, трассу скважины, взаимодействие бурильной колонны со стенками и забоем скважины.

Программа позволяет произвести оценку амплитуды колебаний, возникающих, как правило, в процессе разбуривания твердых пород, в призабойной зоне и на устье скважины, сил, действующих на компоновку низа бурильной колонны. Расчеты различных мероприятий по снижению колебаний позволяют получить обоснованные рекомендации по снижению вибраций в бурильной колонне и предотвращению ее поломок как путем использования амортизаторов с наиболее подходящими параметрами, их рационального размещения в КНБК, так и регулирования режимов бурения, состава КНБК, а также оценивать эффективность таких технологических мероприятий.

Программа позволяет рассчитать воздействие на бурильную колонну высокочастотных и низкочастотных колебания, возникающие при бурении, в том числе колебаний основной и второй гармоники.

7. Программа проектирования трассы скважины (Profil, Trassa)

Программа предназначена для определения оптимальной трассы скважины с учетом заданного пространственного положения забоя или определенного интервала скважины соответственно продуктивным пластам, стволу другой скважины или другим ориентирам. В программе учитывается естественное азимутальное искривление скважины под влиянием геологических и технологических факторов, зенитного угла ствола. В программе Пользователем задаются определенные условия: глубина скважины по вертикали, отход, реперные точки скважины, в том числе трасса ранее пробуренного ствола (при работах по восстановлению скважин), геологический комплекс, требования (ограничения) по интенсивности искривления, возможности отклоняющих устройств.

Определяются все трассовые параметры: координаты в каждой точке, кривизна оси ствола, дирекционный угол, отход забоя от устья или определенной точки, необходимый угол упреждения азимута при зарезке наклонного ствола

(что бы забой попал в нужную точку по азимуту с учетом его пространственного изменения на разных участках скважины). Блоки программы расчета трассы скважины включены как опция в программы расчета бурильных и обсадных колонн.

8. Программа Stat-Bur статистической обработки массива данных для получения и оценки математической зависимости между известными параметрами

Относительно простая программа позволяет получить математические формулы статистической зависимости

Программа предназначена для определения функциональной зависимости одного параметра (отклика) от переменных независимых значений (регрессоров) других параметров, влияющих на изучаемый процесс. Статистическая обработка таких данных позволяет не только получить математическое выражение зависимости искомого параметра от регрессоров, но и определить уровень их влияния на отклик, достоверность полученной зависимости и другие полезные результаты статистической обработки. Эти результаты позволяют более обоснованно принимать решение по тем или иным задачам, в том числе при определении наиболее эффективных вариантов технологии бурения.

Результаты такой обработки позволяют определять ожидаемую величину искомого параметра при любых сочетаниях регрессоров (в диапазоне рассмотренных величин), построить графические зависимости отклика от регрессоров.