



Трубная  
Металлургическая  
Компания

**Разработка,  
производство, и эксплуатация  
новых резьбовых соединений  
обсадных,  
насосно – компрессорных,  
бурильных труб ОАО «ТМК»  
класса «ПРЕМИУМ»**

**г. Челябинск**  
февраль 2007 г.

**«Разработка производство и эксплуатация  
новых резьбовых соединений  
обсадных, насосно-компрессорных, бурильных труб  
ОАО «ТМК» класса «ПРЕМИУМ»**

**Б.Ю. Щербаков**  
**Начальник Отдела по разработке и освоению  
новых резьбовых соединений ОАО «ТМК»**

*«Трубная металлургическая компания», являясь одним из крупнейших производителей трубной продукции в мире, не может оставаться в стороне от внедрения передовых технологий добычи нефти и газа. Современные условия строительства и эксплуатации нефтегазовых скважин требуют от производителей трубной продукции резьбовые соединения с повышенными эксплуатационными свойствами, т.е. высокой герметичностью, стойкостью к растягивающим, изгибающим, сжимающим нагрузкам, агрессивным средам. Поэтому Компания активно проводит работы по проектированию, освоению производства и продвижению продукции отвечающей требованию настоящего времени.*

*В активе Компании имеются высоко технологичные резьбовые соединения для обсадных, насосно – компрессорных, бурильных труб. Некоторые из них хорошо зарекомендовали себя и применяются на нефтегазовых месторождениях России и стран СНГ, некоторые находятся в различной стадии освоения.*

*К современным разработкам ОАО «ТМК» относятся резьбовые соединения обсадных труб «ТМК FMC», «ТМК GF», «ТМК PF»; безмуфтовые резьбовые соединения обсадных труб «ТМК 1», «ТМК 2»; резьбовое соединение насосно - компрессорных труб «ТМК FMT»; резьбовое соединение бурильных труб и другие.*

*Все соединения защищены патентами.*

## Проектирование новых резьбовых соединений труб нефтегазового сортамента

«Трубная металлургическая компания» проектирует собственные резьбовые соединения различного назначения и области применения.

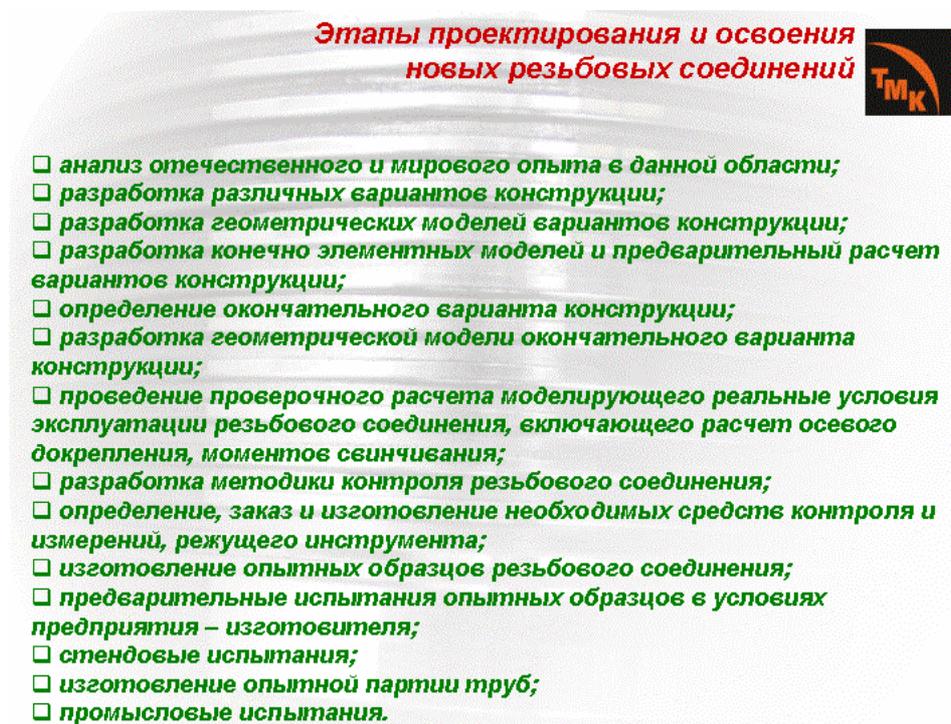


Рисунок 1

Проектирование и освоение новых резьбовых соединений состоит из следующих этапов (рис. 1):

- анализ отечественного и мирового опыта в данной области;
- разработка различных вариантов конструкции;
- разработка геометрических моделей вариантов конструкции с помощью лицензионного программного обеспечения Autodesk Inventor;
- разработка конечно элементных моделей и предварительный расчет вариантов конструкции с помощью лицензионного программного обеспечения;
- определение окончательного варианта конструкции;
- разработка геометрической модели окончательного варианта конструкции;
- проведение проверочного расчета моделирующего реальные условия эксплуатации резьбового соединения, включающего расчет осевого докрепления, моментов свинчивания;
- разработка методики контроля резьбового соединения;
- определение, заказ и изготовление необходимых средств контроля и измерений, режущего инструмента;
- изготовление опытных образцов резьбового соединения;
- предварительные испытания опытных образцов в условиях предприятия – изготовителя;
- стендовые испытания;
- изготовление опытной партии труб;
- промышленные испытания.

Проектирование и расчет резьбовых соединений основан на анализе реальных условий эксплуатации.

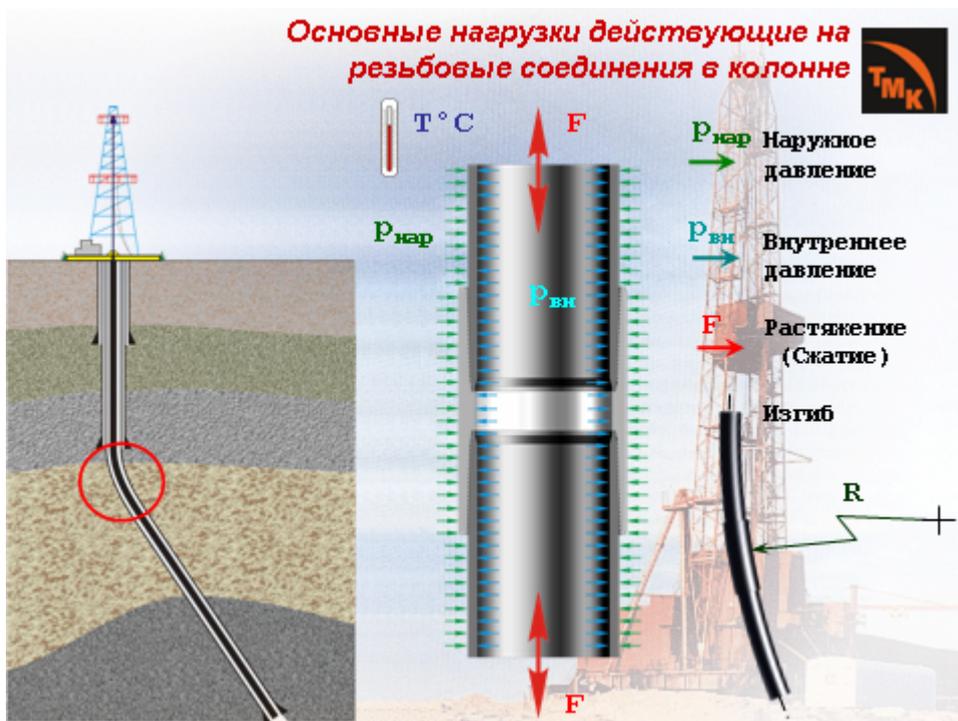


Рисунок 2

Обсадная колонна в процессе строительства и эксплуатации скважин воспринимает различные по характеру и величине нагрузки (рис. 2).

Все многообразие нагрузок возникающих от различных факторов, в общем случае, можно привести к следующим основным типам:

**1 Осевая нагрузка (растяжение, сжатие).** Осевые нагрузки определяются собственным весом колонны, силами трения, нагрузками, связанными с влиянием температуры, давления и др.

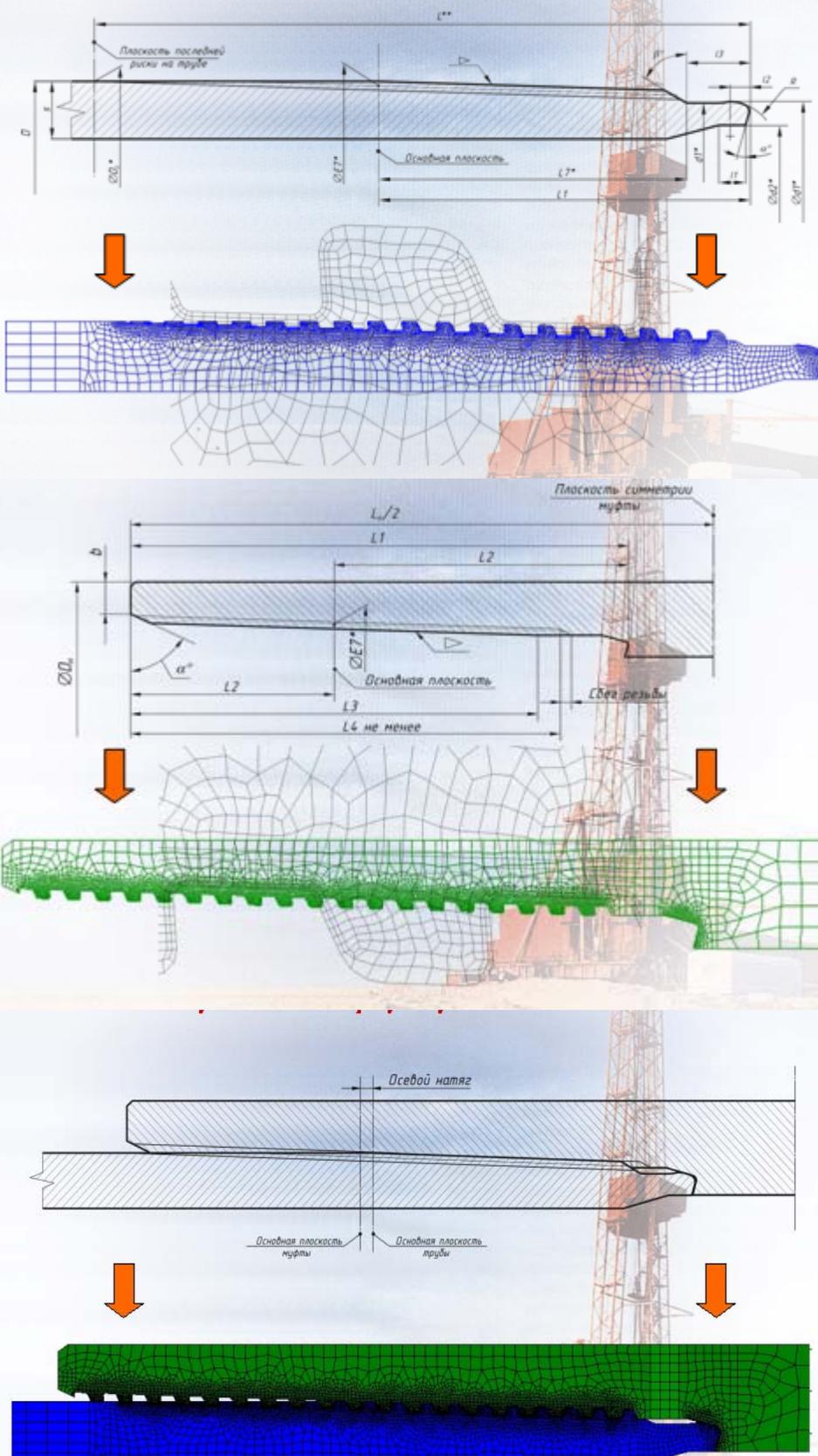
**2 Давление (наружное, внутреннее).** Наружное давление определяется гидростатическим давлением создаваемым столбом жидкости или газа за колонной. Внутреннее давление возникает в период опрессовки и эксплуатации колонны.

**3 Изгиб.** Изгибная нагрузка возникает при искривлении колонны в результате потери устойчивости и при работе в наклонно – направленных скважинах.

Рассматриваются различные комбинации перечисленных нагрузок.

На основе анализа воспринимаемых нагрузок и условий эксплуатации разрабатываются конструкции резьбовых соединений. Для оценки их работоспособности и уточнения эксплуатационных характеристик проходят предварительные и поверочные расчеты, основанные на методе конечных элементов. Критерием герметичности принимается достижение в заданных элементах конструкции при сборке соединения напряжений близких к пределу текучести материала.

**Метод конечных элементов.  
Создание модели соединения для расчета  
напряженно-деформированного состояния**



Метод конечных элементов позволяет с достаточной точностью смоделировать нагрузки, действующие на соединение, поведение соединения от действия приложенных нагрузок и оценить правильность принятых конструкторских решений, тем самым сократить время на проектирование

Рисунок 3

Метод конечных элементов (рис. 3) позволяет с достаточной точностью смоделировать нагрузки, действующие на соединение, поведение соединения от действия приложенных нагрузок и оценить правильность принятых конструкторских решений тем самым сократить время на проектирование.

## Новые конструкции резьбовых соединений труб нефтегазового сортамента



Рисунок 4

Резьбовое соединение «ТМК FMC» (рис. 4) предназначено для обсадных труб используемых для крепления вертикальных и наклонно – направленных скважин нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений. Типоразмеры труб от 114,30 мм до 244,48 мм, а так же 146,1 мм, 250,83 мм, 323,9 мм.

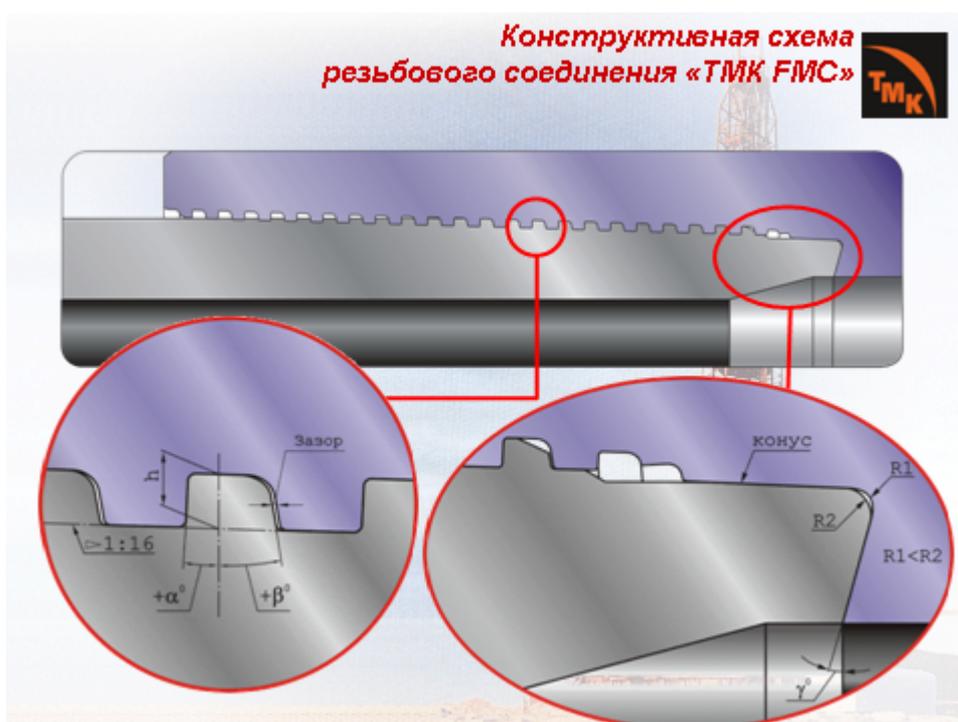


Рисунок 5

В соединении (рис. 5) использована трапециидальная упорная резьба с конусностью 1:16.

Герметичность резьбового соединения повышена за счет использования в конструкции герметизирующего узла с уплотнением «металл – металл» (рис. 5). Герметизирующий узел состоит из радиального уплотнения, выполненного в виде поверхностей на трубе и в муфте с малым конусом и упорных поверхностей выполненных под углом к оси резьбы и являющегося дополнительным барьером герметизации (рис. 5). Конструкция узла уплотнения позволяет выдерживать значительные сжимающие нагрузки без потери герметичности.



Рисунок 6

Резьбовое соединение «ТМК GF» (рис. 6) разработано для обсадных труб используемых для крепления горизонтальных и наклонно – направленных газовых, газоконденсатных и нефтяных скважин с интенсивностью искривления ствола скважины до 40° на 30 м. Диапазон типоразмеров от 114,30 мм до 339,72 мм.

Соединение разработано по заказу ОАО «ГАЗПРОМ» и буровой компании ООО «БУРГАЗ» при участии ООО «ВНИИГАЗ». Разработка проводилась на основании согласованного технического задания определяющего основные технические и эксплуатационные характеристики соединения.

Конструктивная схема  
резьбового соединения «ТМК GF»

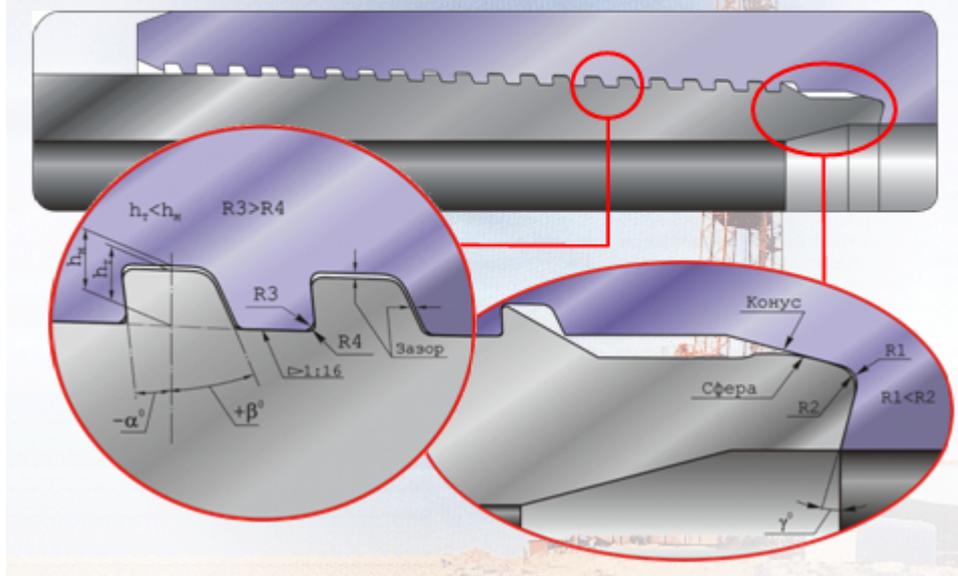


Рисунок 7

Герметичность резьбового соединения «ТМК GF» обеспечивается наличием в конструкции герметизирующего узла «металл – металл» (рис. 7). Герметизирующий узел имеет радиальное уплотнение и упор. Радиальное уплотнение состоит из сферической поверхности на трубе и конической в муфте. Упор состоит из соответствующих конических поверхностей трубы и муфты и является дополнительным барьером герметизации.

Контакт сферической уплотнительной поверхности трубы и ответной конической поверхности муфты происходит с оптимальным радиальным натягом на сравнительно небольшой площади, при этом возникают необходимые контактные напряжения, обеспечивающие значительную герметичность. Данная конструкция позволяет проводить повторную разборку резьбового соединения без повреждений уплотнительной поверхности за счет быстрого входа и выхода в зоне контакта. Сферический узел уплотнения позволяет резьбовому соединению оставаться герметичным при действии значительных изгибающих нагрузок.

В конструкции резьбового соединения «ТМК GF» использована резьба (рис. 7) с отрицательным углом опорной грани улучшающей работоспособность соединения при изгибающих и растягивающих нагрузках, значительным углом закладной грани улучшающей свинчиваемость соединения.

Отрицательный угол опорной грани профиля резьбы, снижает возможность выхода резьбы ниппеля из зацепления с резьбой муфты при растяжениях и изгибах. Это позволило снизить величину радиального натяга в резьбе по сравнению с конструкциями резьб, имеющих положительный угол закладной грани, что улучшило свинчиваемость соединения и износостойкость резьбы.

По наружному диаметру резьбы имеется конструктивный зазор, также улучшающий свинчиваемость и повышающий износостойкость резьбы.

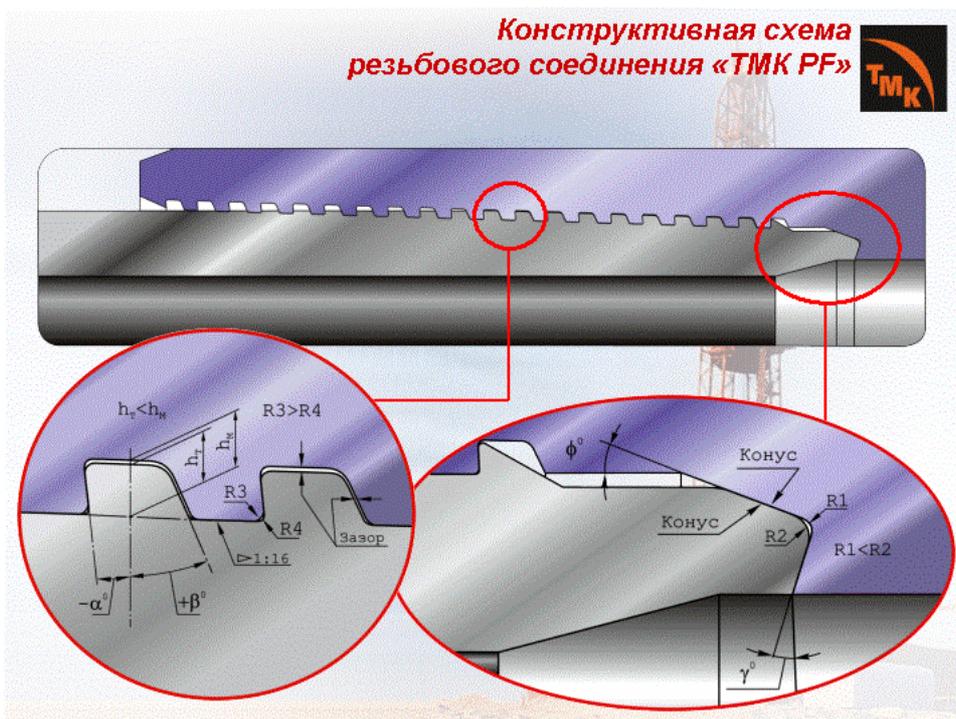
Радиусы профиля резьбы разведены с целью получения гарантированного контакта при свинчивании – развинчивании по прямолинейному участку опорной грани для повышения устойчивости к истиранию и износостойкости резьбового соединения.

Оптимизированный зазор между закладными гранями резьбы трубы и резьбы муфты, повышает сопротивляемость сжимающим нагрузками и предохраняет герметизирующий узел от повреждений.



**Рисунок 8**

Резьбовое соединение «ТМК РФ» (рис. 8) предназначено для крепления вертикальных и наклонно направленных нефтяных и газовых скважин. Диапазон типоразмеров от 114,30 мм до 339,72 мм.



**Рисунок 9**

Герметичность соединения обеспечивается наличием в конструкции герметизирующего узла «металл – металл» (рис. 9). Герметизирующий узел имеет радиальное уплотнение и упор. Радиальное уплотнение состоит из конических поверхностей трубы и муфты. Упор так же состоит из соответствующих конических поверхностей трубы и муфты и является дополнительным барьером герметизации.

Контакт конической уплотнительной поверхности трубы и ответной поверхности муфты происходит с оптимальным радиальным натягом на небольшой площади, при этом возникают необходимые контактные напряжения, обеспечивающие герметичность. Данная конструкция позволяет повторную разборку резьбового со-

единения проводить без повреждений уплотнительных поверхностей за счет быстрого входа и выхода в зоне контакта. Узел уплотнения позволяет резьбовому соединению оставаться герметичным при действии изгибающих нагрузок.

В конструкции соединения использована резьба (рис. 9) по конструкции и характеристикам аналогичная «ТМК GF».



Рисунок 10

Резьбовое соединение насосно – компрессорных труб «ТМК FMT» (рис. 10) разработано для использования в вертикальных и наклонно направленных скважинах нефтяных и газовых месторождениях. Типоразмеры труб 60,3 мм, 73,0 мм, 88,9 мм, 114,3 мм.

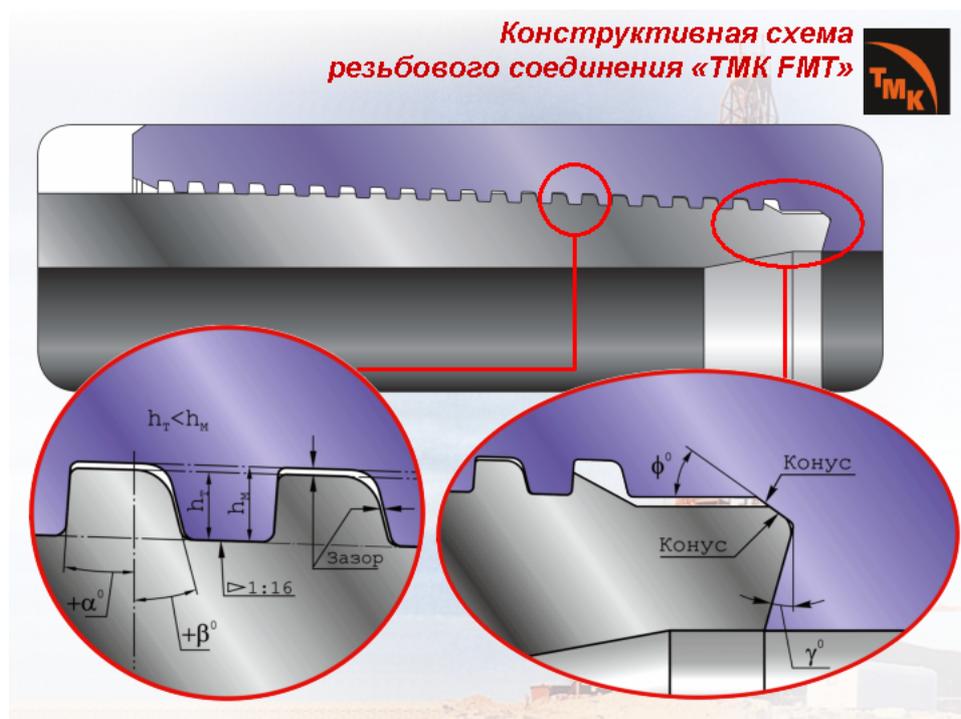


Рисунок 11

В конструкции соединения применена резьба трапециидального профиля (рис. 11) с шагом:

- для диаметров 60 мм, 73 мм – 3,175 мм;
- для диаметров 89 мм, 114 мм – 4,233 мм.

Резьба имеет зазор по наружному диаметру улучшающий свинчиваемость соединения.

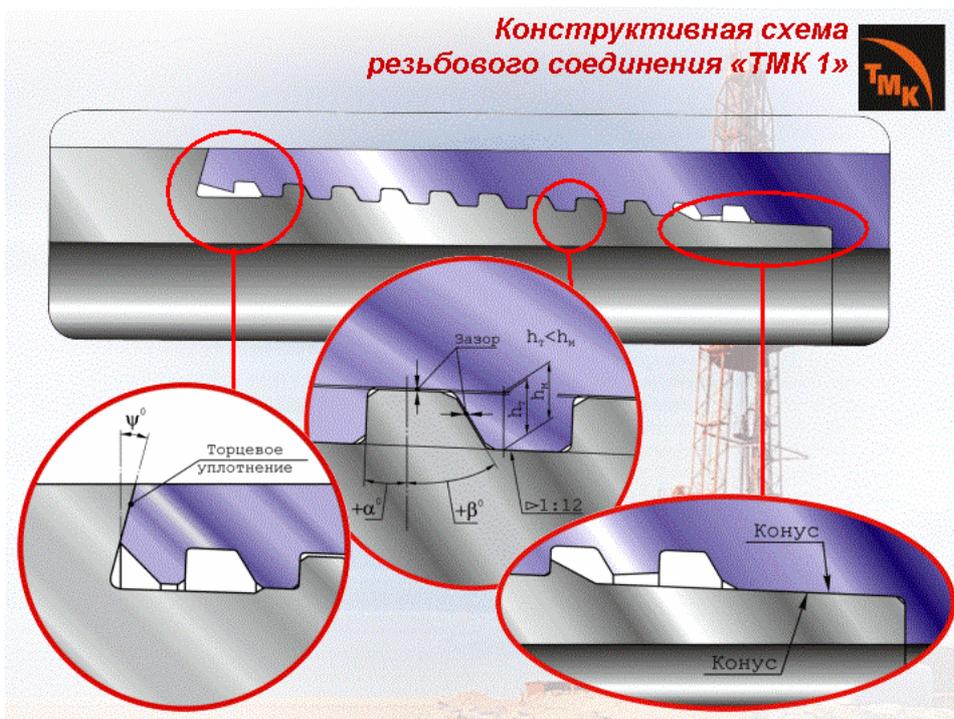
Герметичность резьбового соединения обеспечивается конструкцией герметизирующего узла «металл – металл» (рис. 11). Герметизирующий узел имеет радиальное уплотнение и упор. Радиальное уплотнение состоит из коротких конических поверхностей трубы и муфты. Контакт уплотнительных конических поверхностей трубы и муфты происходит с оптимальным радиальным натягом на небольшой площади, при этом возникают большие контактные напряжения, обеспечивающие герметичность. Данная конструкция также позволяет проводить многократную сборку резьбового соединения без повреждений уплотнительных поверхности за счет быстрого входа и выхода в зоне контакта.

Упор состоит из соответствующих конических поверхностей трубы и муфты. При сборке соединения на упорных поверхностях возникают контактные напряжения, обеспечивающие дополнительную герметичность. Упорные поверхности также защищают соединение от чрезмерного момента свинчивания и сжатия.



**Рисунок 12**

Безмуфтовое резьбовое соединение обсадных труб «ТМК 1» (рис. 12) предназначено для хвостовиков обсадных колонн и ремонта скважин. Типоразмеры труб условных диаметров 102 мм, 114 мм, 120 мм, 140 мм.



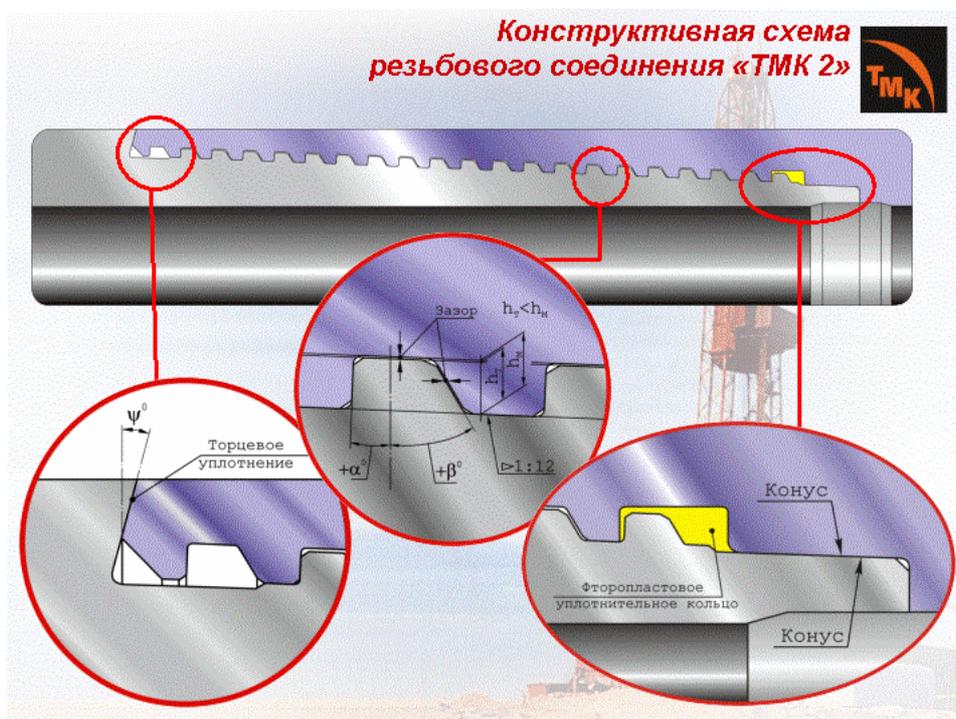
**Рисунок 13**

В соединении использована трапецидальная резьба НКМ по ГОСТ 633 с конусностью 1:12 и зазором по наружному диаметру резьбы (рис. 13) обеспечивающая хорошую свинчиваемость. Герметичность соединения обеспечивается гладким внутренним радиальным уплотнением «металл – металл» с конусностью 1:12 (рис. 13). Дополнительным барьером герметизации служат упорные наружные поверхности, расположенные под углом  $15^{\circ}$  (рис. 45).



**Рисунок 14**

Безмуфтовое резьбовое соединение обсадных труб «ТМК 2» (рис. 14) выполняется на трубах без высадки условных диаметров 140 мм, 168 мм, 194 мм, 198 мм. Соединение предназначено для хвостовиков обсадных колонн и ремонта скважин.



**Рисунок 15**

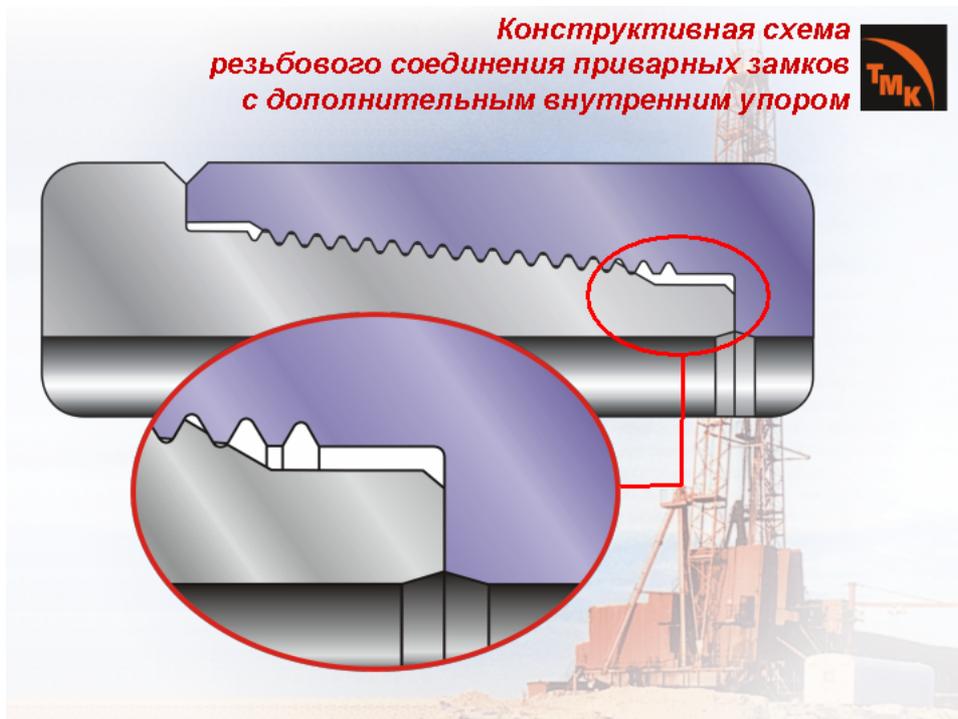
В соединении (рис. 15) использована трапецидальная резьба НКМ по ГОСТ 633 с конусностью 1:12 и зазором по наружному диаметру резьбы обеспечивающая хорошую свинчиваемость соединения. Герметичность соединения обеспечивается гладким внутренним радиальным уплотнением «металл – металл» с конусностью 1:12 и узлом уплотнения из полимерного материала. Дополнительным барьером герметизации служат упорные наружные поверхности, расположенные под углом 15°.



**Рисунок 16**

Конструкция замков (рис. 16) разработана на основе ГОСТ 27834. Замки предназначены для использования при аварийных работах, и сложных геологических условий строительства скважин.

**Конструктивная схема  
резьбового соединения приварных замков  
с дополнительным внутренним упором**



**Рисунок 17**

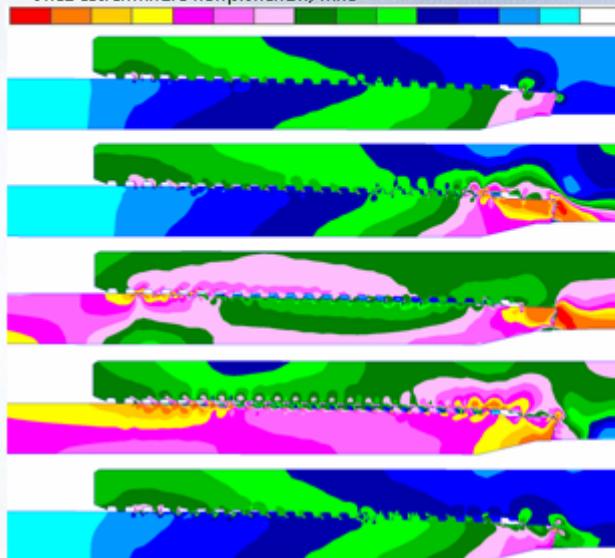
В конструкцию замка (рис. 17) введен дополнительный внутренний упор, что по сравнению со стандартными замками позволяет выдерживать более высокие значения крутящего момента. Конструкция так же позволяет производить свинчивание со стандартными замками.

**Расчет конструкций новых резьбовых соединений труб  
нефтегазового сортамента**

**Пример распределения эквивалентных напряжений  
в резьбовом соединении «ТМК FMS»  
для напряжений 0,8  $\sigma_s$**



Эквивалентные напряжения, МПа



Шаг 1  
Свинчивание до  
соприкосновения  
упорных торцов

Шаг 2  
Докрепление

Шаг 3  
Сжатие

Шаг 4  
Растяжение

Шаг 5  
Снятие нагрузки до  
состояния докрепления

**Рисунок 18**

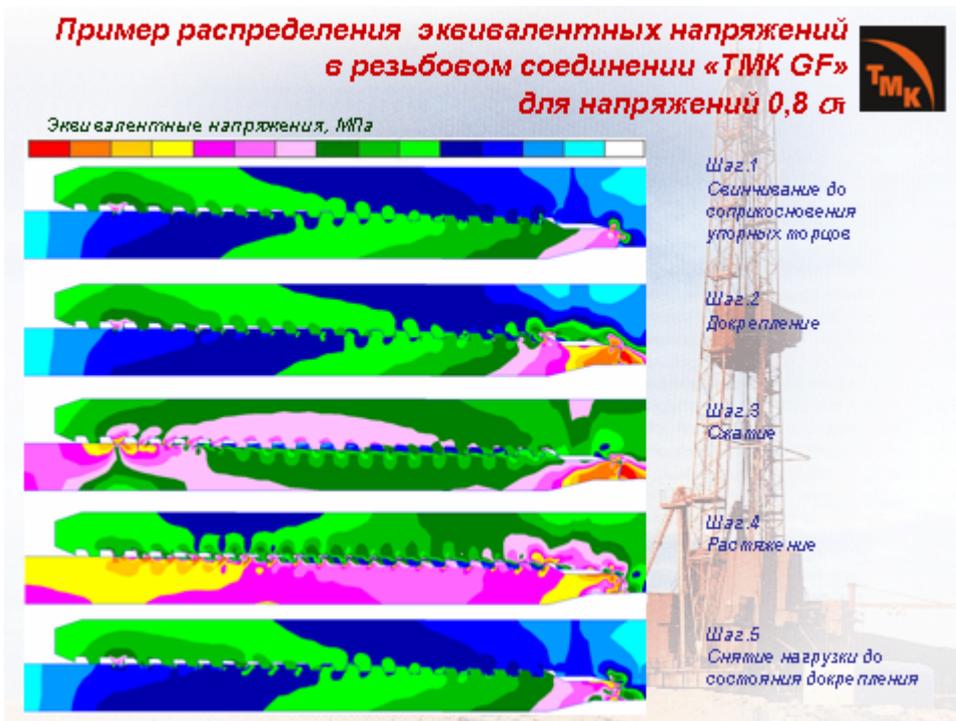


Рисунок 19

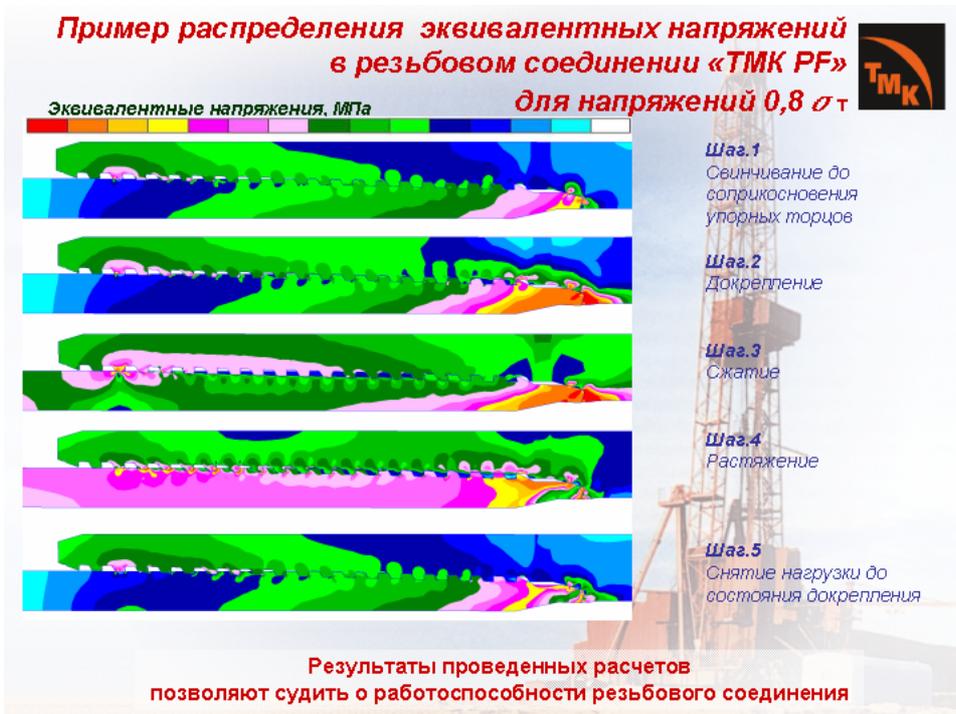
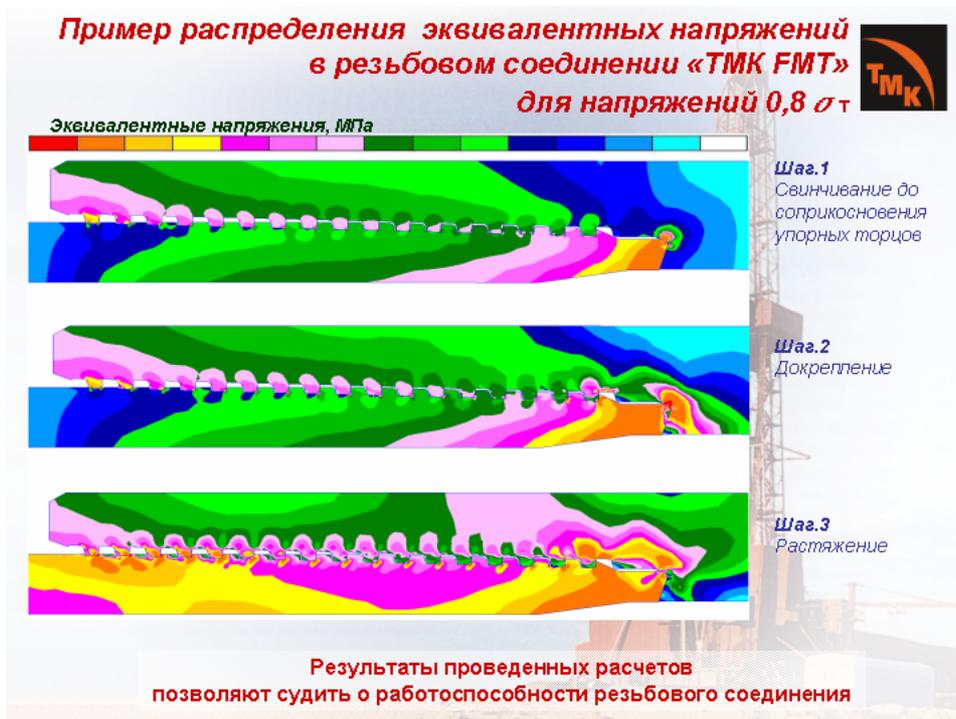
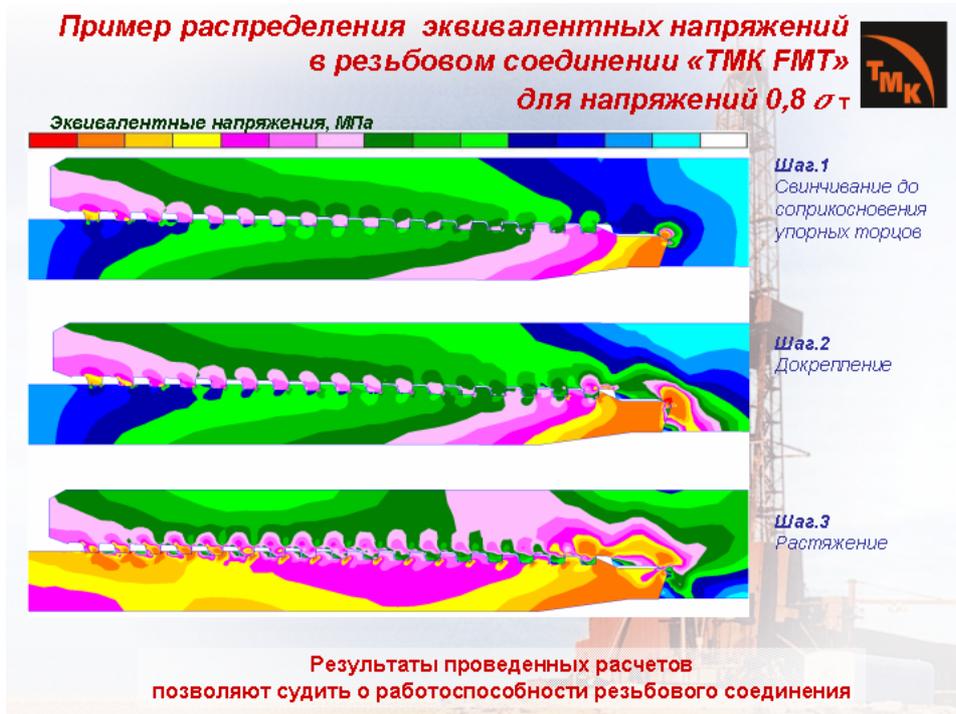


Рисунок 20



**Рисунок 21**



**Рисунок 22**

Примеры результатов расчета резьбовых соединений (рис. 18, 19, 20, 21, 22), методом конечных элементов с помощью программного обеспечения показывают распределение эквивалентных напряжений в соединениях при последовательном приложении нагрузок по следующим шагам:

- **на первом шаге** моделировалось свинчивание соединений до соприкосновения упорных поверхностей;
- **на втором шаге** модели соединений докреплялись в осевом направлении на заранее определенную величину;
- **на третьем шаге** к моделям соединений прикладывалась осевая сжимающая нагрузка, рассчитанная из условия возникновения в регулярном сечении трубы напряжений равных 80% от предела текучести материала;
- **на четвертом шаге** к моделям соединений прикладывалась осевая растягивающая нагрузка рассчитанная из условия возникновения в регулярном сечении трубы напряжений равных 80% от предела текучести материала;
- **на пятом шаге** модели разгружались до состояния докрепления.

Приложение нагрузок к резьбовым соединениям в указанной выше последовательности в наибольшей степени оказывает влияние на их герметичность, поэтому результаты проведенных расчетов позволяют судить о работоспособности конструкций резьбовых соединений.

Герметичность резьбовых соединений «ТМК FMC», «ТМК GF», «ТМК PF», «ТМК FMT», «ТМК 1», «ТМК 2» определяется радиальными уплотнениями, конструкция которых учитывает особенности проникающей способности активной среды зависящей от длины пути прохождения и величины контактных напряжений между сопрягаемыми поверхностями.

**Пример распределения контактных напряжений по длине радиального уплотнения резьбового соединения «ТМК FMC»**

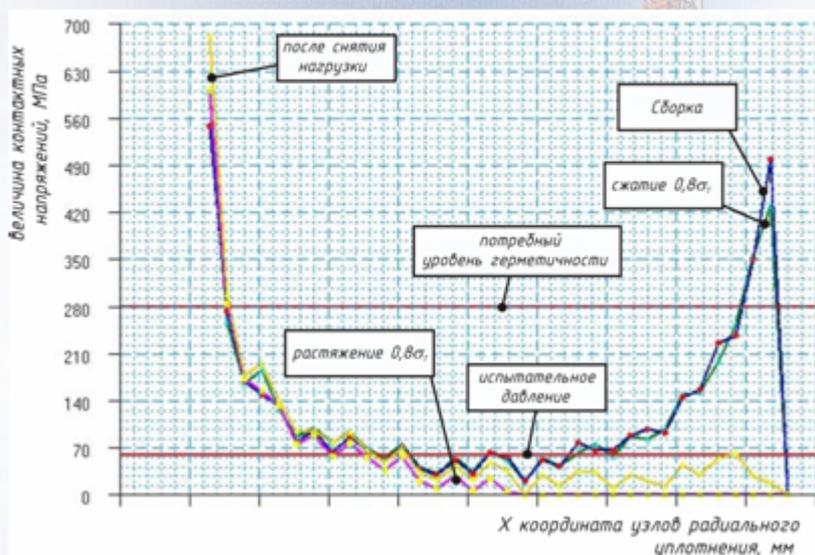


Рисунок 23

**Пример распределения контактных напряжений по длине радиального уплотнения резьбового соединения «ТМК GF»**

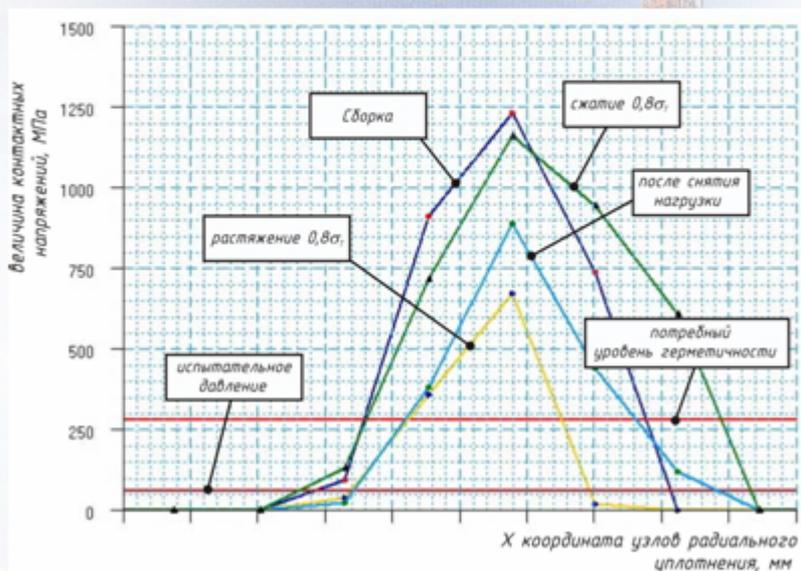
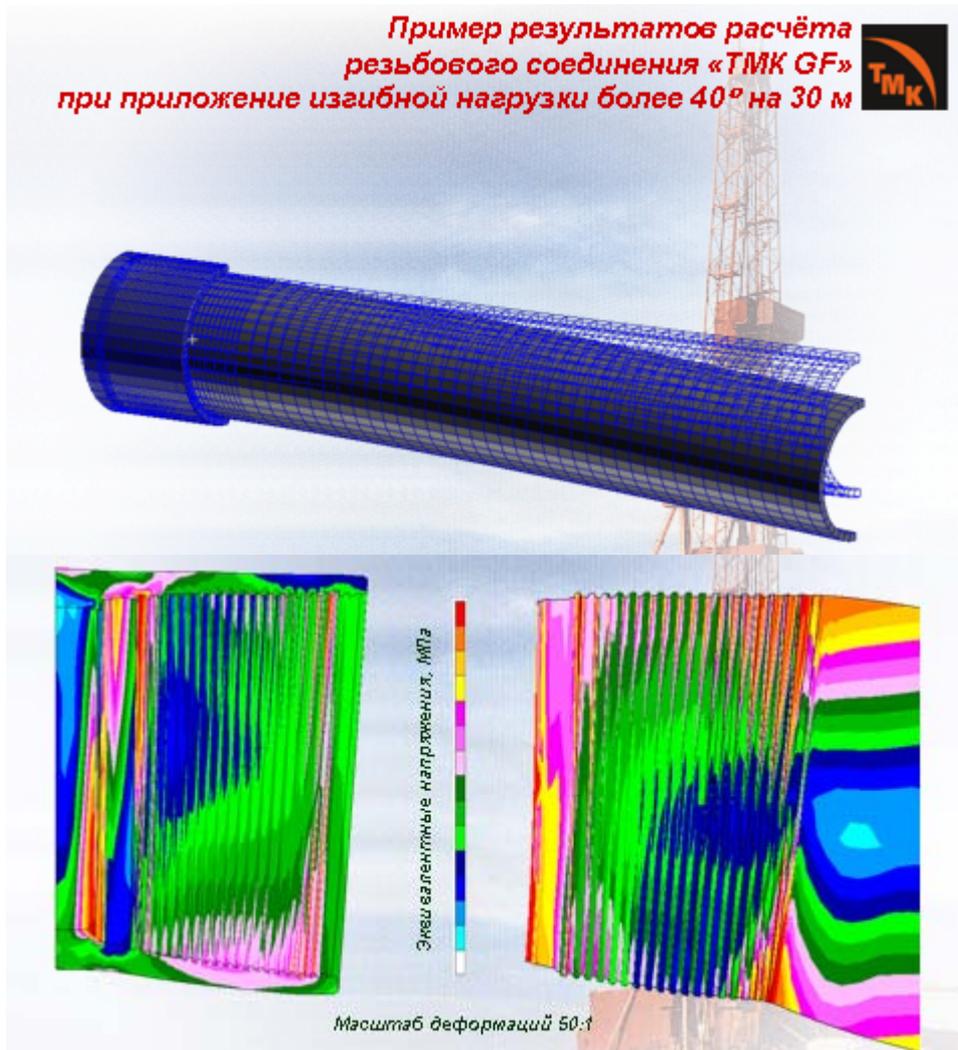


Рисунок 24

Примеры распределений контактных напряжений по длине радиальных уплотнений резьбовых соединений «ТМК FMC», «ТМК GF» (рис. 23, 24) при последовательном приложении к резьбовым соединениям предельных нагрузок при сборке – сжатии – растяжении – снятии нагрузки показывают, что величина контактных напряжений во всех случаях достаточна для обеспечения герметичности соединений.



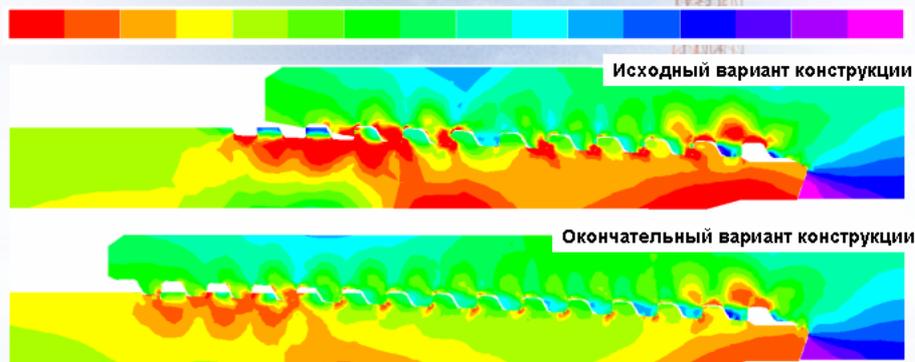
**Рисунок 25**

Так как резьбовое соединение «ТМК GF» (рис. 25) предназначалось для эксплуатации в скважинах с интенсивностью искривления до 40° на 30 м был проведен расчет на приложение изгибной нагрузки равной по величине пределу текучести материала по опасному сечению трубы, что превышает интенсивность искривления 40° на 30 м. Расчет показал, что соединение остается работоспособным.

### Пример проекторочного расчета резьбового соединения «ТМК FMT»



Эквивалентные напряжения, МПа



По результатам предварительных расчетов при проработке конструкции резьбового соединения опасное сечение на трубе перенесено в место с большей толщиной стенки, снижен общий уровень напряжений по всему продольному сечению

Рисунок 26

Проектирование соединения «ТМК FMT» (рис. 26) было начато с анализа конструкции стандартного соединения по ГОСТ 633. По результатам расчетов исходное соединение было значительно видоизменено для улучшения его эксплуатационных характеристик. В первую очередь пришлось отказаться от конусности 1:12 и перейти к 1:16 по резьбе. Также изменились форма герметизирующего узла, наружный диаметр муфты, резьба на трубе выполнена без сбega.

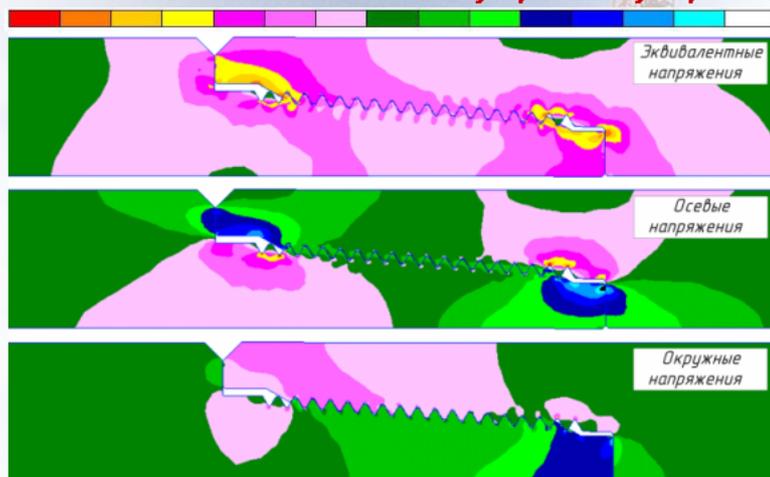
По результатам предварительных расчетов при проработке конструкции было отодвинуто опасное сечение на трубе в сторону, где толщина стенки больше, а также снизить общий уровень напряжений по всему сечению.

В результате произведенных изменений, а также подбора оптимальных диаметральных натягов удалось повысить сопротивляемость соединения различным видам нагрузок и улучшить его эксплуатационные характеристики по сравнению со стандартной конструкцией.

Проведенный проверочный расчет итоговой конструкции соединения показал, что подобраны натяги, при которых напряжения на резьбовом участке соединения достаточны для надежного соединения трубы с муфтой и выход резьбы трубы из зацепления исключен, а прочность соединения на растяжение практически соответствует прочности тела трубы.

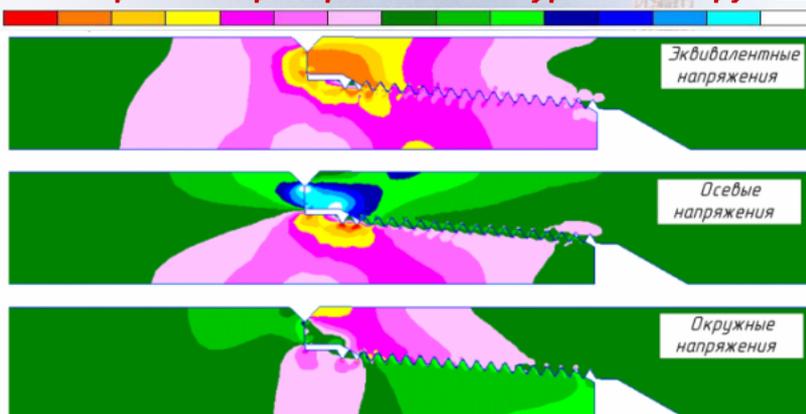
*Проведенный расчет резьбовых соединений методом конечных элементов позволил судить об их герметичности во всех рассматриваемых случаях встречающихся при строительстве эксплуатационных колонн.*

**Пример распределения напряжений  
в резьбовом соединении  
приварного замка бурильных труб  
с дополнительным внутренним упором**



Распределение напряжений в бурильном замке ЗП 184-83 с дополнительным упором при окружном креплении  $15^\circ$  (ориентировочный момент 7200 кг·м)

**Пример распределения напряжений  
в резьбовом соединении  
стандартного приварного замка бурильных труб**



Распределение напряжений в бурильном замке ЗП 184-83 при окружном креплении  $30^\circ$  (ориентировочный момент 7200 кг·м)

В результате расчета установлено, что замок с дополнительным внутренним упором по сравнению с замком стандартной конструкции при приложении одинакового крутящего момента перекрутился на  $15^\circ$  меньше, при этом уровень напряжений на наружном упоре ниже

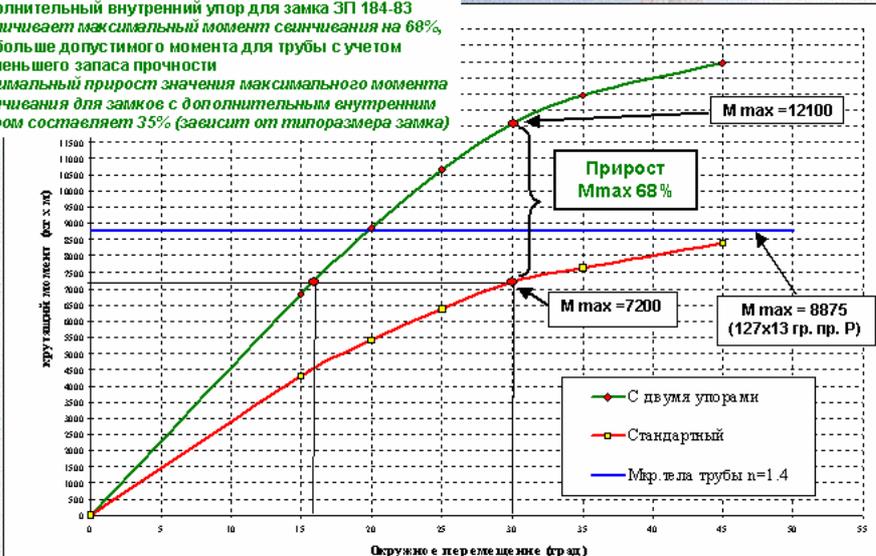
Рисунок 27

Для одного типоразмера замка с дополнительным упором и стандартного замка проведен расчет (рис. 27) при приложении одинакового момента свинчивания соответствующего максимально возможному моменту для стандартного замка без появления пластических деформаций. В результате расчета установлено, что замок с дополнительным упором перекрутился на  $15^\circ$  меньше в окружном направлении, чем стандартный замок, и при этом уровень напряжений на наружном упоре ниже.

**Диаграмма зависимости момента свинчивания от окружного перемещения приварного замка ЗП 184-83 стандартной конструкции и с дополнительным внутренним упором**



Дополнительный внутренний упор для замка ЗП 184-83 увеличивает максимальный момент свинчивания на 68%, что больше допустимого момента для трубы с учетом наименьшего запаса прочности. Минимальный прирост значения максимального момента свинчивания для замков с дополнительным внутренним упором составляет 35% (зависит от типоразмера замка).



**Рисунок 28**

На сравнительной диаграмме (рис. 28) момента свинчивания замков для трубы типоразмера 127×13 группы прочности «Р» видно, что прирост для замка с дополнительным внутренним упором составил 68%. Это значительно больше допустимого момента для трубы с учетом наименьшего запаса прочности (1,4).

Увеличение величины момента свинчивания для замков с дополнительным внутренним упором напрямую зависит от типоразмера замка. Минимальный прирост значения максимального момента свинчивания составляет ~35%.

**Производство труб нефтегазового сортамента с новыми резьбовыми соединениями**

**Специальный режущий инструмент, средства измерений для производства новых резьбовых соединений**



Разработаны и изготовлены российскими производителями специальный режущий инструмент, средства измерений для производства новых резьбовых соединений

**Рисунок 29**

Российским производителем были изготовлены режущие пластины для обработки резьбы труб, муфт, герметизирующего узла труб (рис. 29).

Режущая пластина для обработки герметизирующего узла труб, муфт позволяет улучшить качество продукции обеспечением жесткого взаимного расположения уплотнительных и упорных поверхностей. Конструкция пластины позволяет одновременно обрабатывать уплотнительную поверхность, упорную поверхность и радиус перехода между ними. При этом предусмотрена возможность обработки труб, муфт с различными толщинами стенок.

Работоспособность и герметичность резьбовых соединений зависит от диаметров резьбы и уплотнения, выполненных в соответствии размерами установленных при проектировании.

Для контроля основных геометрических параметров резьбовых соединений российским производителем мерительного инструмента был разработан и изготовлен комплекс специальных приборов для контроля диаметров резьбы и герметизирующих узлов труб и муфт, а так же настройки приборов на измеряемые размеры (рис. 29).

Комплекс приборов включает:

- прибор для контроля диаметра, овальности резьбы труб и муфт по вершинам профиля;
- прибор для контроля диаметра, овальности резьбы труб и муфт по сопрягаемым диаметрам профиля;
- прибор для контроля диаметра, овальности, конусности радиальных уплотнений труб;
- прибор для контроля диаметра, овальности радиальных уплотнений муфт;
- стенд для настройки выше указанных приборов.

Приборы позволяют производить измерения наружных и внутренних диаметров резьбы, диаметров радиальных уплотнений труб и муфт на требуемом расстоянии от базовых поверхностей.

Приборы позволяют вносить точные корректировки в программы обработки на станках с ЧПУ при изготовлении труб и муфт. Применение приборов увеличивает точность изготовления элементов резьбовых соединений и, соответственно, повышает качество и эксплуатационные свойства соединений.



Рисунок 30

Механическая обработка труб и муфт производится на современном металлорежущем оборудовании с ЧПУ (рис. 30).



**Рисунок 31**

После механической обработки перед операциями контроля на трубах производится зачистка участка резьбы с чернотой по вершинам профиля (рис. 31).

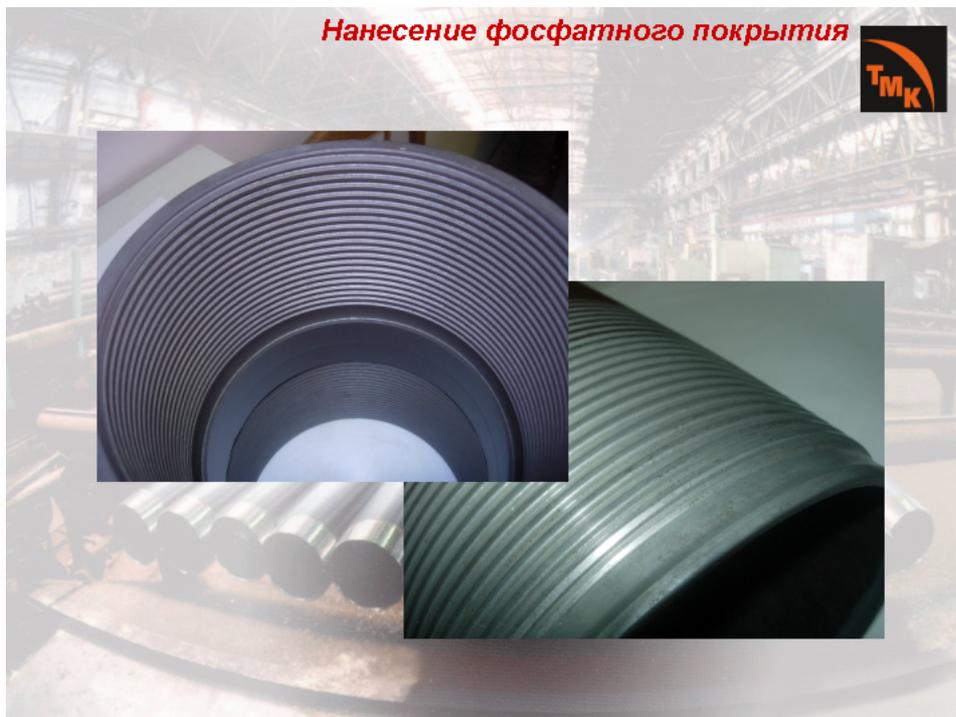
В процессе производства труб и муфт контроль и измерения геометрических параметров производится с заданной периодичностью (рис. 31).



**Рисунок 32**

Для обеспечения прослеживаемости результаты контроля и измерений геометрических параметров резьбовых соединений фиксируются контролерами ОТК (рис. 32).

После механической обработки для выявления дефектов концы труб и муфты проходят магнитно-порошковый контроль (рис. 32).



**Рисунок 33**

Для повышения износостойкости при сборке резьбовых соединений на поверхности резьбы, уплотнительные и упорные поверхности труб и муфт наносится фосфатное покрытие по технологии фирмы «Henkel» (рис. 33).

Правильность сборки резьбового соединения для достижения необходимых диаметральных натягов и осевого докрепления является одним из важнейших условий его работоспособности и герметичности.



**Рисунок 34**



**Рисунок 35**

Для обеспечения данного условия сборка резьбовых муфтовых соединений обсадных труб с внутренними упорными элементами производится:

- по меткам свинчивания (рис. 34);
- по положению торца относительно основания треугольного знака;
- по моменту свинчивания (рис. 35).

Простановка меток свинчивания осуществляется по специальным приспособлениям (рис. 35).

## Стендовые испытания новых резьбовых соединений труб нефтегазового сортамента

Для подтверждения принятых конструкторских решений и в соответствии с требованиями потребителей нефтегазового комплекса по согласованным техническим заданиям лабораторией резьбовых соединений ОАО НПО «Буровая техника» и лабораторией коррозионно-стойких материалов ООО «ВНИИГАЗ» проведены и проводятся стендовые испытания новых резьбовых соединений. В процессе проведения испытаний моделируются реальные условия эксплуатации на нефтяных и газовых скважинах.

### **Стендовые испытания резьбового соединения «ТМК 1» в ОАО НПО «Буровая техника»**

**Испытания на 3-х кратное свинчивание – развинчивание с последующим:**

- гидроиспытанием внутренним давлением равным 0,8 ст и дальнейшим последовательным приложением осевой растягивающей нагрузки и изгибающего момента соответствующего интенсивности искривления скважины  $5^{\circ} \div 15^{\circ}$  на 30 м**

**Рисунок 36**

Образцы резьбового соединения «ТМК 1» (рис. 36) прошли в ОАО НПО «Буровая техника» испытания на 3-х кратное свинчивание – развинчивание с последующим гидроиспытанием внутренним давлением равным 80% от предела текучести материала и дальнейшим последовательным приложением осевой растягивающей нагрузки и изгибающего момента соответствующего интенсивности искривления скважины  $5^{\circ} \div 15^{\circ}$  на 30 м.

**Стендовые испытания  
резьбового соединения «ТМК FMC»  
в ОАО НПО «Буровая техника»**

Испытания на 3-х кратное свинчивание – развинчивание с последующим:

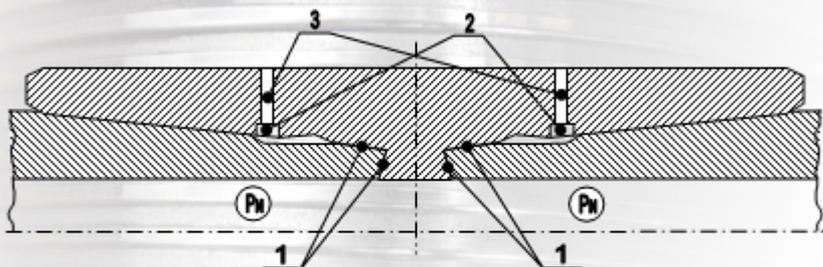
- гидроиспытанием внутренним давлением равным 0,8  $\sigma_T$  и дальнейшим последовательным приложением осевой растягивающей нагрузки и изгибающего момента соответствующего интенсивности искривления скважины  $6^\circ$  на 10 м, при этом герметичность обеспечивалась резьбой и узлом герметизации
- гидроиспытанием внутренним давлением равным 0,8  $\sigma_T$  с дальнейшим последовательным приложением осевой растягивающей нагрузки и изгибающего момента соответствующего интенсивности искривления скважины  $6^\circ$  на 10 м при этом герметичность обеспечивалась только узлом герметизации

**Рисунок 37**

Образцы резьбового соединения «ТМК FMC» (рис. 37) прошли в ОАО НПО «Буровая техника» испытания на 3-х кратное свинчивание – развинчивание с последующим:

- гидроиспытанием внутренним давлением равным 80% от предела текучести материала и дальнейшим последовательным приложением осевой растягивающей нагрузки и изгибающего момента соответствующего интенсивности искривления скважины  $6^\circ$  на 10 м при этом герметичность обеспечивалась резьбой и узлом герметизации;
- гидроиспытанием внутренним давлением равным 80% от предела текучести материала с дальнейшим последовательным приложением осевой растягивающей нагрузки и изгибающего момента соответствующего интенсивности искривления скважины  $6^\circ$  на 10 м при этом герметичность обеспечивалась только узлом герметизации.

**Стендовые испытания  
резьбового соединения «ТМК FMC»  
в ОАО НПО «Буровая техника»**



- $P_n$  – внутреннее давление в испытательном образце
- 1 – радиальные уплотнительные и упорные поверхности резьбового соединения
- 2 – кольцевые канавки, расточенные в муфте
- 3 – отверстия, соединяющие полости кольцевых канавок с атмосферой

**Доработка образцов резьбового соединения  
для испытания работоспособности узла герметизации**

**Рисунок 38**

На образцах для испытания узла герметизации резьбового соединения «ТМК FMC» в муфте было выполнено сквозное отверстие, которое позволило исключить резьбу при испытании на герметичность соединения (рис. 38).

Испытания показали, что уплотнение «металл - металл» резьбового соединения «ТМК FMC» обеспечивает герметичность при одновременном действии максимальных нагрузок – внутреннего давления равного 0,95 от значения, при котором напряжения в теле трубы достигают предела текучести; допустимой растягивающей нагрузки; изгибающего момента, соответствующего интенсивности искривления скважины 6° на 10 метров.

**Стендовые испытания  
резьбовых соединений  
в ОАО «НПО Буровая техника»**

При испытании в ОАО НПО «Буровая техника» натуральных образцов резьбовых соединений «ТМК 1», «ТМК FMC» на сложное нагружение при различных сочетаниях действующих нагрузок – внутреннего гидростатического давления, осевого растяжения и изгиба установлено:

**«В процессе всех экспериментов работоспособность резьбовых соединений полностью сохранилась».**

По результатам стендовых испытаний в ОАО НПО «Буровая техника» трубы с резьбовыми соединениями «ТМК 1», «ТМК FMC» **рекомендованы к проведению промысловых испытаний.**

**Рисунок 39**

При испытании в ОАО НПО «Буровая техника» натуральных образцов резьбового соединения «ТМК 1», «ТМК FMC» (рис. 39) на сложное нагружение при различных сочетаниях действующих нагрузок – внутреннего гидростатического давления, осевого растяжения и изгиба. «В процессе всех экспериментов работоспособность резьбовых соединений полностью сохранилась».

По результатам стендовых испытаний в ОАО НПО «Буровая техника» трубы с резьбовым соединением «ТМК 1», «ТМК FMC» рекомендованы к проведению промысловых испытаний.

Для применения на месторождениях ОАО «ГАЗПРОМ» резьбовые соединения «ТМК FMC», «ТМК GF» прошли комплекс стендовых испытаний в ООО «ВНИИ-ГАЗ».

**Стендовые испытания  
резьбового соединения «ТМК FMC»  
в ООО «ВНИИГАЗ»**

Испытания на 3-х кратное свинчивание – развинчивание с последующим:

- гидроиспытанием внутренним давлением равным  $\sigma_T$
- динамическим испытанием (термоциклированием) в среде природного газа давлением равным 0,8  $\sigma_T$  материала со сложным комбинированным нагружением (внутреннее давление и растяжение)
- испытанием на газогерметичность в среде сероводорода давлением равным 0,8  $\sigma_T$  материала со сложным комбинированным нагружением (внутреннее давление и растяжение)

**Стендовые испытания  
резьбового соединения «ТМК GF»  
в ООО «ВНИИГАЗ»**

Испытания на 3-х кратное свинчивание – развинчивание с последующим:

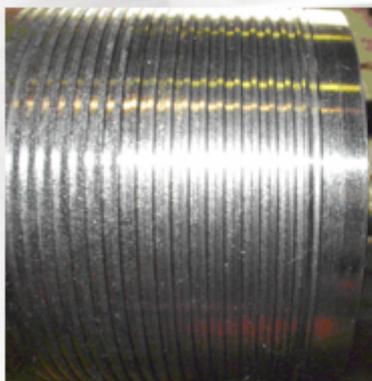
- гидроиспытанием внутренним давлением равным  $\sigma_T$
- динамическим испытанием (термоциклированием) в среде природного газа давлением равным 0,8  $\sigma_T$  материала со сложным комбинированным нагружением внутренним давлением, растяжением, изгибом соответствующим интенсивности искривления скважины 40° на 30 м
- испытанием на газогерметичность в среде сероводорода давлением равным 0,8  $\sigma_T$  материала со сложным комбинированным нагружением (внутреннее давление и растяжение)

**Рисунок 40**

Образцы резьбовых соединений «ТМК FMC», «ТМК GF» (рис. 40) прошли испытания на 3-х кратное свинчивание – развинчивание с последующим:

- гидроиспытание внутренним давлением равным пределу текучести материала;
- динамическим испытанием (термоциклированием) в среде природного газа давлением равным 80% от предела текучести материала со сложным комбинированным нагружением (внутреннее давление и растяжение), при этом к образцам резьбового соединения «ТМК GF» прикладывалась изгибающая нагрузка соответствующая интенсивности искривления скважины 40° на 30 метров;
- испытанием на газогерметичность в среде сероводорода давлением равным 80% от предела текучести материала со сложным комбинированным нагружением (внутреннее давление и растяжение);

**Испытание резьбового соединения «ТМК FMC»  
в ООО «ВНИИГАЗ»  
на свинчивание – развинчивание**



Состояние резьбы  
и узла герметизации  
до свинчивания



Состояние резьбы  
и узла герметизации  
после 3-х кратного  
свинчивания - развинчивания

**Рисунок 41**

**Испытание резьбового соединения «ТМК GF»  
в ООО «ВНИИГАЗ»  
на свинчивание - развинчивание**



Состояние резьбы  
и узла герметизации  
до свинчивания

Состояние резьбы  
и узла герметизации  
после 3-х кратного  
свинчивания –  
развинчивания



**Рисунок 42**

Резьбовое соединение «ТМК FMC» (рис. 41) и резьбовое соединение «ТМК GF» (рис. 42) подвергалось испытанию на 3-х кратное свинчивание – развинчивание с регистрацией крутящего момента на каждой ступени испытания. До первого свинчивания и после каждого последующего развинчивания проводился визуальный осмотр и фотографирование резьбы и уплотнительных элементов.

*В ходе проведения испытаний на свинчивание – развинчивание отмечено:*

- свинчивание происходило плавно, без рывков;
- на всех соединениях после проведения исследований не было отмечено никаких повреждений, задиrow на резьбе и уплотнительных поверхностях.

Следующие динамические испытания на газогерметичность (термоциклирование) проводились в три этапа:

- двукратное свинчивание - развинчивание и третье свинчивание с регистрацией крутящего момента;
- статические испытания, включающие гидропрессовку на ступенях внутреннего давления (максимальное соответствует пределу текучести материала) с выдержкой на каждой ступени 15 минут и испытание природным газом (метаном) внутренним давлением (максимальное соответствует 80% от предела текучести материала) по ступеням с выдержкой на каждой ступени – 24 часа;
- динамические испытания на максимальной ступени внутреннего давления (80% от предела текучести материала), в процессе которого образцы выдерживали в ванне, воду в которой стократно меняли с холодной ( $16^{\circ}\div 20^{\circ}\text{C}$ ) на горячую ( $90^{\circ}\div 95^{\circ}\text{C}$ ) и обратно, что сопровождалось колебаниями внутреннего давления внутри образцов и, соответственно, осевых и тангенциальных напряжений.

Поскольку резьбовое соединение «ТМК GF» предназначено для эксплуатации в наклонно-направленных и горизонтальных скважинах, то предварительно, с помощью специального устройства к образцу приложили изгибающую нагрузку, соответствующую интенсивности искривления скважины  $40^{\circ}$  на 30 метров.

Образец обсадной трубы с устройством нагружения устанавливался в ванну для проведения испытаний на термоциклирование.

**Динамические испытания (термоциклирование)  
на газогерметичность  
со сложным комбинированным нагружением  
резьбового соединения «ТМК FMC»  
в ООО «ВНИИГАЗ»**

Испытательное давление  
газа - 0,8 от материала

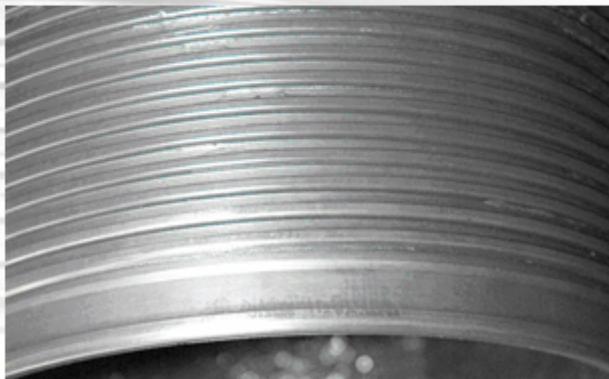


Состояние резьбы и узла герметизации  
после проведения испытания

**Рисунок 43**

**Динамические испытания (термоциклирование)  
на газогерметичность  
со сложным комбинированным нагружением  
в том числе изгибом до 40° на 30м  
резьбового соединения «ТМК GF»  
в ООО «ВНИИГАЗ»**

Испытательное давление  
газа - 0,8 от материала



**Состояние резьбы и узла герметизации  
после проведения стендового испытания**

**Рисунок 44**

После проведения испытания на образцах резьбовых соединений «ТМК FMC» (рис. 43) и «ТМК GF» (рис. 44) повреждений резьбы, уплотнительных и упорных поверхностей не обнаружено.

*По результатам проведенных испытаний на термоциклирование установлена газовая герметичность резьбовых соединений «ТМК FMC», «ТМК GF», которая сохраняется и при многократном свинчивании-развинчивании данных соединений.*

Испытания на газогерметичность в среде сероводорода проводились в три этапа:

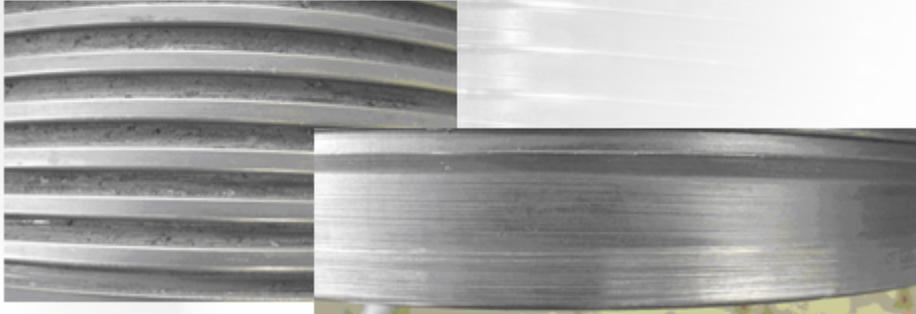
- двукратное свинчивание-развинчивание соединения и третье свинчивание с регистрацией крутящего момента;
- гидравлические испытания максимальным давлением, соответствующим пределу текучести материала с выдержкой 15 минут;
- испытание на газогерметичность в среде сероводорода максимальным давлением соответствующим 80% от предела текучести материала в течение 720 часов при температуре +23°C.

Испытательной средой являлся раствор NACE TM 01-77 (96) (раствор А) насыщенный сероводородом до концентрации соответствующей парциальному давлению сероводорода 8 атм и двуокисью углерода парциальным давлением 3 атм.

**Стендовые испытания  
резьбового соединения «ТМК FMC»  
в среде сероводорода  
в ООО «ВНИИГАЗ»**

Испытательная среда - раствор NACE TM 01-77 (96) (раствор А) ,  
насыщенный сероводородом до концентрации соответствующей  
парциальному давлению сероводорода 8 атм  
и двуокиси углерода парциальным давлением 3 атм

**Длительность испытания - 720 часов**



**Состояние резьбы и узла герметизации  
после проведения стендового испытания**

**Рисунок 45**

**Стендовые испытания  
резьбового соединения «ТМК GF»  
в среде сероводорода  
в ООО «ВНИИГАЗ»**

Испытательная среда - раствор NACE TM 01-77 (96) (раствор А) ,  
насыщенный сероводородом до концентрации соответствующей  
парциальному давлению сероводорода 8 атм  
и двуокиси углерода парциальным давлением 3 атм

**Длительность испытания - 720 часов**



**Состояние резьбы и узла герметизации  
после проведения стендового испытания**

**Рисунок 46**

Испытания на газогерметичность в среде сероводорода резьбовых соединений «ТМК FMC» (рис. 45) и «ТМК GF» (рис. 46) показали:

- 1 По внешнему виду исходные резьбы и уплотнительные и упорные поверхности не имеют механических повреждений, задиров. Защитное покрытие высокого качества.
- 2 Свинчивание-развинчивание проходило плавно, без рывков. После каждого цикла свинчивания-развинчивания на поверхности резьбы, уплотнительных и упорных поверхностей риски и следы пластических деформаций отсутствовали.
- 3 Во время стендовых испытаний не обнаружено подтеков, выдавливания смазки и других следов негерметичности образцов.
- 4 После завершения испытаний и полной разборки образцов дефектов резьбы и уплотнений обнаружено не было.

5 Выше изложенное позволяет констатировать, что резьбовые соединения «ТМК FMC», «ТМК GF» выдержали испытания

**Стендовые испытания  
резьбовых соединений «ТМК FMC», «ТМК GF»  
в ООО «ВНИИГАЗ»**

**Проведенный комплекс стендовых испытаний  
в ООО «ВНИИГАЗ» показал:**

- резьбовые соединения «ТМК FMC», «ТМК GF» **газогерметичны и работоспособны,**
- резьбовое соединение «ТМК FMC» **может использоваться** на вертикальных, наклонно - направленных скважинах нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений, в том числе на месторождениях природного газа при парциальных давлениях сероводорода до 1,5 МПа;
- резьбовое соединение «ТМК GF» **может использоваться** на вертикальных, наклонно - направленных и горизонтальных скважинах нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений с интенсивностью искривления до 40 градусов на 30 метров, в том числе на месторождениях природного газа при парциальных давлениях сероводорода до 1,5 МПа;
- резьбовые соединения «ТМК FMC», «ТМК GF» **рекомендованы для проведения полевых (промысловых) испытаний.**

**Рисунок 47**

Проведенный комплекс стендовых испытаний в ООО «ВНИИГАЗ» (рис. 47) показал:

- резьбовые соединения «ТМК FMC», «ТМК GF» *газогерметичны и работоспособны;*
- резьбовое соединение «ТМК FMC» *может использоваться на вертикальных, наклонно-направленных скважинах нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений, в том числе на месторождениях природного газа при парциальных давлениях сероводорода до 1,5 МПа;*
- резьбовое соединение «ТМК GF» *может использоваться на вертикальных, наклонно-направленных и горизонтальных скважинах нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений с интенсивностью искривления до 40 градусов на 30 метров, в том числе на месторождениях природного газа при парциальных давлениях сероводорода до 1,5 МПа;*
- резьбовые соединения «ТМК FMC», «ТМК GF» *рекомендованы для проведения полевых (промысловых) испытаний.*

В настоящее время в ООО «ВНИИГАЗ» проходят стендовые испытания образцы резьбового соединения «ТМК FMT». Образцы успешно прошли испытания на десятикратное свинчивание – развинчивание и динамические испытания (термоциклирование) в среде природного газа давлением равным 80% от предела текучести материала со сложным комбинированным нагружением (внутреннее давление и растяжение).

## Промысловые испытания труб нефтегазового сортамента с новыми резьбовыми соединениями

### **Промысловые испытания резьбового соединения «ТМК 1»**

- Скважина № 10436 куста 152а Самотлорского месторождения Ду 140 мм, группа прочности Д, длина 2075 м заказчик ОДАО «Самотлорнефть»
- Скважина №15298 куста 576 Самотлорского месторождения Ду 140 мм, группа прочности Д, длина 1839м заказчик ОАО «Нижневартовскнефть»
- Скважина №2847 куста 896 Самотлорского месторождения Ду 140 (группа прочности Д), длина 1691м заказчик ОАО «Нижневартовскнефть»
- Скважина №3041/83 Солкинского месторождения Ду 140 (группа прочности Д), длина 1972 м Заказчик НГДУ Быстринскнефть

**По результатам промысловых испытаний составлены акты содержащие положительные отзывы специалистов буровых компаний, заказчиков и рекомендации по применению труб с соединением «ТМК 1» в качестве хвостовиков или полного перекрытия при ремонтно-изоляционных работах и восстановлению стволов скважин методом спуска колонны меньшего диаметра**

Рисунок 48

Безмуфтовые обсадные трубы с резьбовым соединением «ТМК 1» прошли промысловые испытания (рис. 48), по результатам которых составлены акты содержащие положительные отзывы специалистов буровых компаний, заказчиков и рекомендации по применению труб в качестве хвостовиков или полного перекрытия при ремонтно-изоляционных работах и восстановлению стволов скважин методом спуска колонны меньшего диаметра. В настоящее время трубы производятся и широко используются на месторождениях Западной Сибири.

### **Промысловые испытания резьбового соединения «ТМК FMC»**

- Скважина № 2851 куста 217 Родниковского месторождения Ø 146,1 мм, стенка 7,7 мм, группа прочности Д, длина 2500 м, заказчик ОАО «Сургутнефтегаз»
- Скважины № 3614; № 3609 Загорского месторождения Ø139,7 мм, стенка 7,7 мм, класс С 95, длина 4241 м и 4285 м, заказчик ОАО «Оренбургнефть»
- Скважина № 943 Росташинского месторождения Ø168,28 мм, стенка 8,94 мм; 10,59 мм, класс С 95, длина 4583 м, заказчик ОАО «Оренбургнефть»
- Скважина № 213 Кушевского СПХГ; Ø168,28 мм, стенка 12,06 мм, группа прочности Д, длина 1150 м, заказчик ООО «Нубаньгазпром»
- Скважина № 3613 Загорского месторождения Ø146,1 мм, стенка 7,7 мм, класс С 95, длина 4250 м, заказчик ОАО «Оренбургнефть»
- Скважина № 12071 ОНГКМ, Ø177,8 мм, стенка 9,19 мм, класс L80S, длина 1315 м заказчик ООО «Оренбурггазпром»
- Скважина № 50 Марьяновской площади, Ø244,48 мм, стенка 11,99 мм, класс Р110, длина 690 м, заказчик ДК «Ургазвидобування»
- Скважины № 524; № 513 Довлетабатского месторождения, Ø168,28 мм, стенка 8,94 мм; 10,59 мм, класс класс L80, длина 3323 м, и 3219 м, заказчик ГК «Туркменгаз»

Рисунок 49

Резьбовое соединение обсадных труб «ТМК FMC» прошло всесторонние промышленные испытания (рис. 49) на различных типах скважин нефтяных и газовых месторождениях Сургута, Оренбурга, Кубани, Украины, Туркменистана.



По результатам спусков составлены акты промышленных испытаний, содержащие положительные отзывы от специалистов буровых компаний и рекомендации к промышленному использованию обсадных труб с резьбовым соединением «ТМК FMC» на нефтяных и газовых скважинах, в том числе скважинах содержащих сероводород (рис. 50).

Обсадные трубы с резьбовым соединением «ТМК FMC» широко используются на нефтяных и газовых месторождениях в выше названных регионах России и странах СНГ.



В настоящее время завершились промышленные испытания партии обсадных труб с резьбовым соединением «ТМК GF» на газовых месторождениях полуостров Ямал (рис. 51). По результатам промышленных испытаний составлены акты, содержащие положительные отзывы специалистов буровых компаний, заказчиков и рекомендации к применению обсадных труб с резьбовым соединением «ТМК GF» на скважинах газо- и газоконденсатных месторождений.

***«Трубная металлургическая компания» имеет в своем арсенале резьбовые соединения обсадных, насосно-компрессорных, бурительных труб, отвечающие современным условиям в строительстве и эксплуатации нефтяных и газовых скважин, а также может производить разработки в соответствии с требованиями потребителя.***



Трубинная  
Металлургическая  
Компания

