

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **044724**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.09.27

(51) Int. Cl. *F16L 15/04* (2006.01)

(21) Номер заявки
202291365

(22) Дата подачи заявки
2020.12.22

(54) **РЕЗЬБОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ ДЛЯ ТРУБ**

(31) **2020-005810**

(32) **2020.01.17**

(33) **JP**

(43) **2022.07.29**

(86) **PCT/JP2020/047835**

(87) **WO 2021/145161 2021.07.22**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**НИППОН СТИЛ КОРПОРЕЙШН
(JP); ВАЛЛУРЕК ОЙЛ ЭНД ГЭС
ФРАНС (FR)**

(72) Изобретатель:
Оку Йоусуке, Марута Сатоси (JP)

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(56) WO-A1-2018211873
JP-A-2006526747
JP-A-10169855
JP-A-2012149760
WO-A1-2017104282
JP-A-2001124253
JP-A-9126366
US-A1-20080296894
US-B1-6530607

(57) В резьбовом соединении для труб с двухступенчатой конструкцией резьбы с поверхностями промежуточного заплечика дополнительно повышается сопротивление сжатию. По завершении свинчивания ниппеля 2 и муфты 3 диаметр стыковочного зазора составляет 0,15 мм или меньше, причем стыковочный зазор определяется между закладной стороной наружной резьбы, включающей внутренний резьбовой участок 27 и внешний резьбовой участок 23, и закладной стороной внутренней резьбы, включающей внутренний резьбовой участок 36 и внешний резьбовой участок 32, тем самым вызывая контакт закладных сторон наружной и внутренней резьб до того, как угол θ поворота поверхностей 25 и 34 промежуточного заплечика, как обозначается в продольном сечении, начинает быстро увеличиваться, тем самым предотвращая накопление повреждений в поверхностях 25 и 34 промежуточного заплечика.

B1

044724

044724

B1

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к резьбовому соединению для труб, используемому для соединения, например, стальных труб.

Предпосылки к созданию изобретения

Для добычи подземных ресурсов в нефтяных скважинах, скважинах природного газа и т.д. (далее в совокупности именуемые "нефтяные скважины") используются обсадные трубы, которые образуют множество отрезков стенок скважины и трубопроводов, расположенных внутри обсадных труб для добычи нефти или газа. Такие обсадные трубы или трубопроводы собираются из большого количества соединенных последовательно стальных труб, причем для их соединения используется резьбовое соединение для труб. Стальная труба, используемая в нефтяной скважине, также называется трубой для нефтяной скважины.

Резьбовые соединения для труб, в целом, классифицируются как интегрального типа и муфтового типа. Интегральные резьбовые соединения для труб раскрыты, например, в Патентных документах 1 и 2, перечисленных ниже, а резьбовое соединение муфтового типа для труб раскрыто, например, в Патентном документе 3, указанном ниже.

Интегральное соединение напрямую соединяет трубы нефтяной скважины. Конкретно, внутренняя резьба предусмотрена на одном конце каждой трубы для нефтяной скважины, в то время как наружная резьба предусмотрена на другом конце каждой трубы; при этом во внутреннюю резьбу на одной трубе для нефтяной скважины ввинчивается наружная резьба другой трубы для нефтяной скважины, так что трубы нефтяной скважины соединяются.

В случае соединения муфтового типа трубы для нефтяной скважины соединяются с использованием трубчатой соединительной муфты. В частности, внутренняя резьба предусмотрена на каждом конце соединительной муфты, в то время как наружная резьба предусмотрена на каждом конце каждой трубы для нефтяной скважины. Затем одна наружная резьба одной трубы нефтяной скважины ввинчивается в одну внутреннюю резьбу соединительной муфты, а одна наружная резьба другой трубы нефтяной скважины ввинчивается в другую внутреннюю резьбу соединительной муфты, так что трубы нефтяной скважины соединяются посредством соединительной муфты. То есть, соединение муфтового типа непосредственно соединяет пару труб, одна из которых является трубой нефтяной скважины, в то время как другая является соединительной муфтой.

В целом, конец трубы для нефтяной скважины, на котором предусмотрена наружная резьба, включает элемент, который должен быть вставлен во внутреннюю резьбу, предусмотренную на трубе для нефтяной скважины или соединительной муфте, и таким образом, называется ниппелем. Конец трубы для нефтяной скважины или соединительной муфты, на котором предусмотрена внутренняя резьба, включает элемент для приема наружной резьбы, предусмотренной на конце трубы для нефтяной скважины, и таким образом, называется муфтой.

В последние годы разрабатываются все более и более глубокие скважины с более высокими температурами и более высокими давлениями. Глубокая скважина имеет сложное распределение пластового давления по глубине, что требует повышенного количества отрезков обсадной трубы; так, иногда используют тип резьбового соединения, максимальный наружный диаметр которого, т.е. наружный диаметр муфты, по существу, равен наружному диаметру тела трубы для нефтяной скважины. Резьбовое соединение с внешним диаметром муфты, который, по существу, равен внешнему диаметру тела трубы, трубы для нефтяной скважины, иногда называют резьбовым соединением утопленного типа. Дополнительно, резьбовое соединение с внешним диаметром муфты, меньшим чем примерно 108% внешнего диаметра тела трубы, трубы для нефтяной скважины, иногда называют резьбовым соединением полуутопленного типа. Такие резьбовые соединения утопленного типа и полуутопленного типа не только должны обладать высокой прочностью и герметичностью, но также должны иметь жесткие ограничения по размеру для их различных участков, чтобы позволить их резьбовым и уплотнительным структурам располагаться внутри при ограниченной толщине стенки трубы.

Для резьбовых соединений утопленного типа и полуутопленного типа с жесткими ограничениями по размеру часто используется конструкция соединения, которая включает промежуточные заплечики в середине соединения, как определено вдоль осевого направления, с наружной и внутренней резьбами, расположенными впереди и сзади их, т.е. двумя ступенями резьбы.

Патентный документ 1 раскрывает резьбовое соединение с такой двухступенчатой конструкцией резьбы, которая обеспечивает стабильную герметичность. В способе Патентного документа 1 делается попытка обеспечить стабильную герметичность даже после многократного приложения нагрузки за счет обеспечения внутренней канавки между внутренней уплотняющей поверхностью и внутренним участком внутренней резьбы муфты, которая может вмещать часть внутреннего участка наружной резьбы ниппеля.

Патентный документ 2 раскрывает резьбовое соединение утопленного/полуутопленного типа, которое включает кольцевой участок, расположенный между внешней уплотняющей поверхностью и внутренней резьбой муфты и имеющий длину в направлении оси трубы, которая превышает шаг резьбы внутренней резьбы, тем самым гарантируя, что внешнее уплотнение обеспечивает достаточную герме-

тичность.

Документы предшествующего уровня техники

Патентные документы

Патентный документ 1: публикация WO 2018/211873

Патентный документ 2: публикация WO 2016/056222

Патентный документ 3: Заявка Японии JP 2012-149760 А

Сущность изобретения

Проблемы, решаемые изобретением

Для сохранения герметичности, обеспечиваемой взаимодействием между уплотняющими поверхностями, эффективно улучшить сопротивление сжатию резьбового соединения, потому что, если участки резьбового соединения деформируются сжимающими нагрузками и уплотняющие поверхности смещаются в осевом положении, в результате возникает несоответствующее количество взаимодействий между уплотняющими поверхностями, отрицательно влияющее на герметичность.

Однако, интегральное резьбовое соединение углубленного/полууглубленного типа с двухступенчатой резьбовой конструкцией имеет ограничения по толщине стенки, что затрудняет обеспечение большой ширины контакта для поверхностей промежуточного заплечика (т.е. радиальной ширины контактных участков). Если ширина контакта поверхностей промежуточного заплечика увеличивается, толщина стенки трубы в местах резьбы и уплотнений ниппеля и муфты снижается, что приводит к ухудшению характеристик, таких как герметичность, в то же время, делая затрудненным обеспечение достаточных площадей промежуточных критических сечений ниппеля и муфты, что приводит к снижению прочности на растяжение и герметичности резьбового соединения.

Между тем, поскольку в последние годы были разработаны более глубокие нефтяные скважины с более высокими температурами и более высокими давлениями, желательны дальнейшие улучшения сопротивления сжатию; при этом способ, раскрытый в Патентном документе 1, который позволяет воспринимать сжимающие нагрузки только поверхностями промежуточного заплечика, не обеспечивает достаточного сопротивления сжатию.

Патентный документ 3, указанный выше, раскрывает резьбовое соединение для труб, имеющее ниппель, который включает носовую часть, продолжающуюся от участка с наружной резьбой в направлении конца трубы, и поверхность заплечика на конце носовой части, где резьбовой зазор G между закладными сторонами наружной и внутренней резьб находится в диапазоне от 0,01 до 0,1 мм, так что при приложении осевой сжимающей нагрузки, закладные стороны наружной и внутренней резьб контактируют друг с другом, чтобы выдерживать часть осевой сжимающей нагрузки, тем самым, улучшая сопротивление сжатию.

Однако Патентный документ 3 относится к резьбовым соединениям другого типа, чем резьбовые соединения с двухступенчатой конструкцией резьбы, и не раскрывает, насколько большим должен быть зазор между закладными сторонами для предотвращения нежелательной деформации поверхностей промежуточного заплечика резьбового соединения с двухступенчатой конструкцией резьбы.

Задачей настоящего изобретения является дополнительное улучшение сопротивления сжатию резьбового соединения для труб с двухступенчатой конструкцией резьбы.

Средство для решения проблем

Авторы настоящей заявки сосредоточились на том, как и в какой степени деформируются поверхности промежуточного заплечика резьбового соединения для труб с двухступенчатой конструкцией резьбы при приложении сжимающей нагрузки, и проанализировали эти факторы с использованием упругопластического анализа, в основном, с использованием компьютерного моделирования. Они обнаружили, что чем больше осевая сжимающая нагрузка, приложенная к поверхностям промежуточного заплечика ниппеля и муфты, тем больше становится угол θ поворота заплечика. Дополнительно, они обнаружили, что, если только поверхности промежуточного заплечика несут осевые сжимающие нагрузки, для осевых сжимающих нагрузок, превышающих определенный уровень, единичное приращение $\Delta\theta$ угла поворота заплечика поверхностей промежуточного заплечика на единицу приращения ΔL осевой сжимающей нагрузки быстро увеличивается, как показано на фиг. 1.

Используемый здесь угол θ поворота заплечика определяется, как показано на фиг. 2, как угол, образованный между прямой линией $L1$, проходящей через внешний край $P1$ поверхности промежуточного заплечика ниппеля, и внутренний край $B1$ поверхности промежуточного заплечика муфты, как определено в продольном сечении после завершения свинчивания, с одной стороны, и прямой линией $L2$, проходящей через внешний край $P2$ поверхности промежуточного заплечика ниппеля и внутренний край $B2$ поверхности промежуточного заплечика муфты, как обозначается в одном и том же продольном сечении при приложении осевой сжимающей нагрузки. На фиг. 2 поверхности промежуточного заплечика после завершения свинчивания обозначены пунктирными линиями, а поверхности промежуточного заплечика после приложения осевой сжимающей нагрузки обозначены сплошными линиями. Хотя фиг. 2 показывает точку для $B2$, наложенную на точку для $B1$, в действительности $B1$ и $B2$ не обязательно располагаются таким образом, чтобы их точки накладывались друг на друга. Здесь внешний край поверхности про-

межуточного заплечика ниппеля представляет собой внешний конец поверхности контакта в контакте с поверхностью промежуточного заплечика муфты, а не внешний конец фаски, предусмотренной на внешнем периферийном крае поверхности промежуточного заплечика ниппеля. Внутренний край поверхности промежуточного заплечика муфты представляет собой внутренний конец поверхности контакта в контакте с поверхностью промежуточного заплечика ниппеля, а не внутренний конец фаски, предусмотренной на внутреннем периферийном крае поверхности промежуточного заплечика муфты.

Дополнительно, как используется в данном документе, "по завершении свинчивания" означает момент времени, когда после того, как ниппель свинчен на муфте, к резьбовому соединению не прикладывается ни осевая нагрузка, ни внутреннее/внешнее давление. С другой стороны, "когда соединение свинчено" означает, что ниппель и муфта свинчены, независимо от того, прикладывается ли, по меньшей мере, одно из осевой нагрузки, внутреннего давления и внешнего давления, то есть "когда соединение свинчено" применяется, если ниппель и муфта свинчены даже после приложения осевой нагрузки, внутреннего давления и внешнего давления в диапазоне, который не приводит к разрушению резьбового соединения или потере контактного поверхностного давления между уплотняющими поверхностями ниппеля и муфты, более предпочтительно, в пределах диапазона упругости. В этом изобретении "осевая нагрузка, внутреннее давление и внешнее давление в диапазоне упругости" могут представлять собой осевую нагрузку, внутреннее давление и внешнее давление в пределах эллипса текучести, к которому интересующее нас резьбовое соединение обеспечивает прочность.

Если угол поворота заплечика поверхностей промежуточного заплечика является слишком большим, пластическая деформация может легко накапливаться в поверхностях промежуточного заплечика и вблизи них, что является нежелательной ситуацией. Дополнительно большой угол поворота заплечика может вызвать такую степень деформации внешнего края и близлежащих участков поверхностей промежуточного заплечика ниппеля, а также внутреннего края и близлежащих участков поверхностей промежуточного заплечика муфты, что вызовет разрушение, которое впоследствии может уменьшить эффективную площадь контакта заплечика.

Все это говорит о том, что если величина зазора между закладными сторонами наружной и внутренней резьб после завершения свинчивания является такой, что закладные стороны начинают контактировать в момент времени X (см. фиг. 1) до быстрого увеличения единичного приращения $\Delta\theta$ угла θ поворота заплечика, затем, даже при приложении относительно большой сжимающей нагрузки, сжимающая нагрузка, действующая на поверхности промежуточного заплечика, будет меньше и, как указано линией с двумя точками на фиг. 1, степень увеличения угла θ поворота заплечика после того, как закладные стороны коснулись друг друга, будет меньше.

Затем авторы настоящей заявки исследовали резьбовые соединения нескольких наборов диаметров труб, чтобы определить угол θ поворота заплечика, при котором единичное приращение $\Delta\theta$ быстро увеличивается, и обнаружили, что независимо от диаметров труб единичное приращение $\Delta\theta$ угла поворота заплечика быстро увеличивается при угле θ поворота заплечика больше примерно 1° .

Когда к двухступенчатому резьбовому соединению, имеющему промежуточные заплечики, прикладывается осевая сжимающая нагрузка, в ниппеле и муфте возникает сжимающая деформация, так что величина α сжатия ниппеля и муфты, которая измерена в осевом направлении, увеличивается по мере удаления от промежуточных заплечиков в осевом направлении. Таким образом, в конструкции, в которой размер стыковочного зазора является одинаковым по всей длине, когда сжимающая нагрузка постепенно увеличивается, закладные стороны имеют тенденцию контактировать друг с другом, начиная с мест, удаленных от промежуточных заплечиков, и такой контакт между закладными сторонами затем последовательно продвигается к местам вблизи промежуточных заплечиков.

Дополнительно, относительное смещение между закладными сторонами ниппеля и муфты влияет не только на вышеупомянутую величину α сжатия, но также величину β смещения ниппеля и муфты, измеренную в осевом направлении, вызванную поворотной деформацией поверхностей промежуточного заплечика. Эта величина β смещения может быть выражена как $D_{sh} \times \tan\theta$, где D_{sh} представляет собой расстояние между радиально внешним краем поверхности промежуточного заплечика ниппеля и радиально внутренним краем поверхности промежуточного заплечика муфты, как обозначается в продольном сечении после завершения свинчивания (т.е. радиальную ширину области контакта между поверхностями промежуточного заплечика), как показано на фиг. 2.

Вышеупомянутое относительное смещение между участками закладных сторон ниппеля и муфты, начавших контактировать друг с другом, равно зазору G между закладными сторонами после завершения свинчивания; по существу, закладные стороны начинают контактировать, даже когда угол поворота заплечика меньше 1° , если выполняется следующее выражение (1):

$$G \leq \alpha + \beta = \alpha + D_{sh} \times \tan 1^\circ \dots (1),$$

где при приложении осевой сжимающей нагрузки, которая приводит к тому, что закладные стороны начинают контактировать, α представляет собой величину вызванного деформацией сжатия осевого смещения участков закладных сторон, которые начали контактировать, относительно промежуточных заплечиков.

Авторы настоящей заявки исследовали два типа образцов с шириной D_{sh} контакта заплечика, равной 1,80 и 1,92 мм, путем проведения упругопластического анализа посредством компьютерного моделирования для определения стыковочного зазора G , который приводит к тому, что закладные стороны начинают находиться в контакте, когда угол поворота заплечика составляет 1° или меньше, и обнаружили, что для каждого из этих образцов закладные стороны начинают контактировать, когда угол θ поворота заплечика составляет 1° или меньше, если стыковочный зазор G не более 0,15 мм. Тем не менее, предполагается, что в случае большей ширины D_{sh} контакта заплечика угол θ поворота заплечика может быть сохранен на уровне 1° или меньше даже при большем стыковочном зазоре G .

Подстановка $G=0,15$ и $D_{sh}=1,80$ мм или 1,92 мм в выражение (1) и вычисление α дает $\alpha=0,12$ мм.

Чем больше ширина D_{sh} контакта заплечика, тем больше осевая сжимающая нагрузка, которая поворачивает промежуточный заплечик на 1° . Дополнительно, как правило, чем больше диаметр трубы, тем больше ширина D_{sh} контакта заплечика. Соответственно, можно предположить, что значение α , найденное при угле поворота заплечика, равном 1° , является, в целом, постоянно независимым от диаметра трубы.

Настоящее изобретение основано на этих заключениях.

Резьбовое соединение для труб согласно настоящему изобретению включает трубчатый ниппель и трубчатую муфту, при этом ниппель и муфта выполнены с возможностью свинчивания при ввинчивании ниппеля в муфту. Ниппель включает наружную резьбу, имеющую внутренний резьбовой участок и внешний резьбовой участок, разнесенные друг от друга в осевом направлении, и поверхность промежуточного заплечика, расположенную между внутренним резьбовым участком и внешним резьбовым участком наружной резьбы. Муфта включает в себя внутреннюю резьбу, имеющую внутренний резьбовой участок, выполненный с возможностью зацепления с внутренним резьбовым участком наружной резьбы, когда соединение свинчено, и внешний резьбовой участок, выполненный с возможностью зацепления с внешним резьбовым участком наружной резьбы, когда соединение свинчено, и поверхность промежуточного заплечика, предусмотренную между внутренним резьбовым участком и внешним резьбовым участком внутренней резьбы, и выполненную с возможностью контакта с поверхностью промежуточного заплечика ниппеля, когда соединение свинчено. Наружная резьба и внутренняя резьба сконструированы таким образом, что после завершения свинчивания, опорные стороны наружной резьбы и внутренней резьбы находятся в контакте друг с другом, а между закладными сторонами наружной резьбы и внутренней резьбы образован зазор. Зазор, образующийся между закладными сторонами наружной резьбы и внутренней резьбы после завершения свинчивания, имеет такую величину, что при приложении заданной осевой сжимающей нагрузки, меньшей, чем предельная сжимающая нагрузка ниппеля и муфты, ниппель и муфта деформируются таким образом, что закладные стороны наружной резьбы и внутренней резьбы начинают контактировать с тем, чтобы нести часть осевой сжимающей нагрузки.

Резьбовое соединение для труб согласно настоящему изобретению удовлетворяет следующему выражению (1):

$$G \leq \alpha + \beta = \alpha + D_{sh} \times \tan 1^\circ \dots (1),$$

где G представляет собой размер зазора, образованного между закладными сторонами наружной резьбы и внутренней резьбы после завершения свинчивания, измеренного в направлении оси трубы, а D_{sh} представляет собой расстояние между радиально внешним краем поверхности промежуточного заплечика ниппеля и радиально внутренним краем поверхности промежуточного заплечика муфты как обозначается в продольном сечении после завершения свинчивания.

Преимущества изобретения

Согласно настоящему изобретению, когда резьбовое соединение с двухступенчатой конструкцией резьбы воспринимает приложенные к нему постепенно возрастающие осевые сжимающие нагрузки, закладные стороны наружной и внутренней резьб контактируют друг с другом до увеличения единичного приращения $\Delta\theta$ угла поворота поверхностей промежуточного заплечика до определенного уровня, таким образом, позволяя закладным сторонам нести часть осевой сжимающей нагрузки для достижения относительно небольшого угла θ поворота заплечика для поверхностей промежуточного заплечика, т.е. относительно небольшой величины поворотной деформации поверхностей промежуточного заплечика как обозначается в продольном сечении даже при приложении относительно большой осевой сжимающей нагрузки, тем самым уменьшая повреждения, накопленные на поверхностях промежуточного заплечика. Это позволит достичь желаемого дополнительного улучшения сопротивления сжатию резьбового соединения с двухступенчатой конструкцией резьбы.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 представляет собой график, показывающий взаимосвязь между осевой сжимающей нагрузкой и углом поворота заплечика в резьбовом соединении для труб с двухступенчатой конструкцией резьбы, где осевые сжимающие нагрузки воспринимаются только поверхностями промежуточного заплечика.

Фиг. 2 представляет собой упрощенный увеличенный вид сечения поверхностей промежуточного заплечика резьбового соединения для труб с двухступенчатой конструкцией резьбы в состоянии дефор-

мации при приложении к соединению осевой сжимающей нагрузки.

Фиг. 3 представляет собой вид продольного сечения резьбового соединения для труб нефтяной скважины согласно варианту осуществления, которое свинчено.

Фиг. 4 представляет собой диаграмму комплексной нагрузки, приложенной к испытываемым образцам с № 1 по № 10.

Фиг. 5 представляет собой диаграмму комплексной нагрузки, приложенной к испытываемым образцам с № 11 по № 20.

Фиг. 6 представляет собой график, показывающий взаимосвязь между сжимающей нагрузкой и углом поворота заплечика, полученную при приложении постепенно возрастающих простых сжимающих нагрузок к испытываемым образцам № 1 - № 5.

Фиг. 7 представляет собой график, показывающий взаимосвязь между сжимающей нагрузкой и углом поворота заплечика, полученную при приложении постепенно возрастающих простых сжимающих нагрузок к испытываемым образцам № 6 - № 10.

Фиг. 8 представляет собой график, показывающий взаимосвязь между сжимающей нагрузкой и углом поворота заплечика, полученную при приложении постепенно возрастающих простых сжимающих нагрузок к испытываемым образцам №11 - №15.

Фиг. 9 представляет собой график, показывающий взаимосвязь между сжимающей нагрузкой и углом поворота заплечика, полученную при приложении постепенно возрастающих простых сжимающих нагрузок к испытываемым образцам №16 - №20.

Фиг. 10 представляет собой график, показывающий угол поворота заплечика для различных этапов нагрузки в двух испытываемых образцах № 1 и № 6 с разными осевыми размерами внутренней канавки.

Фиг. 11 представляет собой график, показывающий угол поворота заплечика для различных этапов нагрузки в двух испытываемых образцах № 2 и № 7 с разными осевыми размерами внутренней канавки.

Фиг. 12 представляет собой график, показывающий угол поворота заплечика для различных этапов нагрузки в двух испытываемых образцах № 3 и № 8 с разными осевыми размерами внутренней канавки.

Фиг. 13 представляет собой график, показывающий угол поворота заплечика для различных этапов нагрузки в двух испытываемых образцах № 4 и № 9 с разными осевыми размерами внутренней канавки.

Фиг. 14 представляет собой график, показывающий угол поворота заплечика для различных этапов нагрузки в двух испытываемых образцах № 5 и № 10 с разными осевыми размерами внутренней канавки.

Фиг. 15 представляет собой график, показывающий угол поворота заплечика для различных этапов нагрузки в двух испытываемых образцах № 11 и № 16 с разными осевыми размерами внутренней канавки.

Фиг. 16 представляет собой график, показывающий угол поворота заплечика для различных этапов нагрузки в двух испытываемых образцах № 12 и № 17 с разными осевыми размерами внутренней канавки.

Фиг. 17 представляет собой график, показывающий угол поворота заплечика для различных этапов нагрузки в двух испытываемых образцах № 13 и № 18 с разными осевыми размерами внутренней канавки.

Фиг. 18 представляет собой график, показывающий угол поворота заплечика для различных этапов нагрузки в двух испытываемых образцах № 14 и № 19 с разными осевыми размерами внутренней канавки.

Фиг. 19 представляет собой график, показывающий угол поворота заплечика для различных этапов нагрузки в двух испытываемых образцах № 15 и № 20 с разными осевыми размерами внутренней канавки.

Варианты осуществления для выполнения изобретения

Резьбовое соединение согласно настоящему варианту осуществления включает трубчатый ниппель и трубчатую муфту. Ниппель и муфта свинчиваются, когда ниппель ввинчивается в муфту. Ниппель предусмотрен на конце трубы первой трубы, а муфта предусмотрена на конце трубы второй трубы. Первая труба может быть длинной трубой, такой как труба для нефтяной скважины. Вторая труба может быть длинной трубой, такой как труба для нефтяной скважины, или соединительной муфтой для соединения длинных труб. Труба для нефтяной скважины и соединительная муфта обычно изготавливаются из стали; альтернативно они могут быть изготовлены из металла, такого как нержавеющая сталь или сплав на основе никеля.

Ниппель может включать комплект наружной резьбы, имеющий внутренний резьбовой участок и внешний резьбовой участок, разнесенные друг от друга в осевом направлении, и поверхность промежуточного заплечика, предусмотренную между внутренним резьбовым участком и внешним резьбовым участком наружной резьбы. Предпочтительно, каждый из внутреннего и внешнего резьбовых участков образованы суживающейся резьбой. Внутренний резьбовой участок может быть расположен дальше к концу трубы, чем внешний резьбовой участок. Предпочтительно, образующая сужение суживающейся резьбы, составляющей внутренний резьбовой участок, расположена радиально внутрь образующей сужение суживающейся резьбы, составляющей внешний резьбовой участок. Поверхность промежуточного заплечика может быть образована стороной ступенчатого участка, образованного участком внешней пе-

риферии ниппеля, расположенным между внутренним и внешним резьбовыми участками. Поверхность промежуточного заплечика может быть обращена к концу трубы ниппеля. Каждый из внутреннего и внешнего резьбовых участков может представлять собой, например, трапециевидную резьбу, круглую API резьбу, упорную API резьбу или резьбу типа ласточкин хвост.

Муфта может включать комплект внутренней резьбы, имеющий внутренний резьбовой участок и внешний резьбовой участок, разнесенные друг от друга в осевом направлении, и поверхность промежуточного заплечика, предусмотренную между внутренним резьбовым участком и внешним резьбовым участком внутренней резьбы. Предпочтительно, каждый из внутреннего и внешнего резьбового участков внутренней резьбы образован суживающейся резьбой, дополняющей соответствующий один из внутреннего и внешнего резьбовых участков наружной резьбы. Внутренний резьбовой участок внутренней резьбы находится в зацеплении с внутренним резьбовым участком наружной резьбы, когда соединение свинчено. Внешний резьбовой участок внутренней резьбы находится в зацеплении с внешним резьбовым участком наружной резьбы, когда соединение свинчено. Поверхность промежуточного заплечика муфты может быть образована стороной ступенчатого участка, образованной участком внешней периферии муфты, расположена между внутренним и внешним резьбовыми участками внутренней резьбы. Поверхность промежуточного заплечика муфты обращена к концу трубы муфты и обращена к поверхности промежуточного заплечика ниппеля. Поверхность промежуточного заплечика муфты находится в контакте с поверхностью промежуточного заплечика ниппеля, когда соединение свинчено, при этом эти поверхности промежуточного заплечика функционируют как заплечики для передачи крутящего момента. Каждый из внутреннего и внешнего резьбовых участков внутренней резьбы может быть, например, трапециевидной резьбой, круглой API резьбой, упорной API резьбой или резьбой типа ласточкин хвост, дополняющей соответствующий внутренний и внешний резьбовой участок наружной резьбы.

Поверхность промежуточного заплечика каждого из ниппеля и муфты может быть представлена плоскостью, перпендикулярной оси трубы, или сужающейся плоскостью, наклоненной от такой перпендикулярной плоскости, как обозначается в продольном сечении.

Предпочтительно на внешней периферии ниппеля может быть предусмотрена внутренняя уплотняющая поверхность ниппеля, расположенная дальше к концу трубы первой трубы, чем внутренний резьбовой участок ниппеля, и может быть предусмотрена внутренняя уплотняющая поверхность муфты на внутренней периферии муфты, расположенная дальше к центру трубы второй трубы, чем внутренний резьбовой участок муфты, и выполненная с возможностью взаимодействия с внутренней уплотняющей поверхностью ниппеля, когда соединение свинчено. Предпочтительно, внешняя уплотняющая поверхность ниппеля может быть предусмотрена на внешней периферии ниппеля, расположенной дальше к центру трубы первой трубы, чем внешний резьбовой участок ниппеля, а внешняя уплотняющая поверхность муфты может быть предусмотрена на внутренней периферии муфты, расположенной дальше к концу трубы второй трубы, чем внешний резьбовой участок муфты, и выполнена с возможностью взаимодействия с внешней уплотняющей поверхностью ниппеля, когда соединение свинчено. В других реализациях, каждая из внутренних уплотняющих поверхностей ниппеля и муфты может быть расположена между внутренним резьбовым участком и поверхностью промежуточного заплечика. В других реализациях каждая из внешних уплотняющих поверхностей ниппеля и муфты может быть расположена между внешним резьбовым участком и поверхностью промежуточного заплечика. Одно или несколько таких уплотнений могут быть предусмотрены в разных местах, как определено вдоль направления оси трубы, в случае более чем одного уплотнения, в зависимости от требуемой герметичности и конструкции соединения, и такая уплотняющая поверхность может вообще не быть предусмотрена во всех реализациях, которые не требуют большой герметичности.

Предпочтительно после завершения свинчивания ниппеля и муфты опорные стороны внутреннего резьбового участка наружной резьбы и внутреннего резьбового участка внутренней резьбы находятся в контакте друг с другом, опорные стороны внешнего резьбового участка наружной резьбы и внешнего резьбового участка внутренней резьбы находятся в контакте друг с другом, между закладными сторонами внутреннего резьбового участка наружной резьбы и внутреннего резьбового участка внутренней резьбы образован зазор, и зазор образован между закладными сторонами внешнего резьбового участка наружной резьбы и внешнего резьбового участка внутренней резьбы.

Предпочтительно размер зазора, образованного между закладными сторонами внутреннего резьбового участка наружной резьбы и внутреннего резьбового участка внутренней резьбы является одинаковым по всему диапазону зацепления между внутренними резьбовыми участками; в качестве альтернативы, в небольшом диапазоне может присутствовать больший зазор. Предпочтительно размер зазора, образованного между закладными сторонами внешнего резьбового участка наружной резьбы и внешнего резьбового участка внутренней резьбы является одинаковым по всему диапазону зацепления между внешними резьбовыми участками; в качестве альтернативы, в небольшом диапазоне может присутствовать больший зазор. Предпочтительно размер зазора, образованного между закладными сторонами внутреннего резьбового участка наружной резьбы и внутреннего резьбового участка внутренней резьбы равен размеру зазора, образованного между закладными сторонами внешнего резьбового участка наружной резьбы и внешнего резьбового участка внутренней резьбы.

Предпочтительно зазор, образованный между закладными сторонами внутренних резьбовых участков наружной резьбы и внутренней резьбы после завершения свинчивания, имеет такую величину, что при приложении заданной осевой сжимающей нагрузки, меньшей, чем предельная сжимающая нагрузка ниппеля и муфты, ниппель и муфта деформируются таким образом, что закладные стороны внутренних резьбовых участков наружной резьбы и внутренней резьбы начинают контактировать, чтобы нести часть осевой сжимающей нагрузки. Закладные стороны внутренних резьбовых участков могут контактировать различными способами в то время, когда они начинают контактировать; контакт может начинаться в заданном месте на внутренних резьбовых участках, как определено вдоль направления оси трубы, и площадь контакта между закладными сторонами может постепенно расширяться по мере увеличения осевой сжимающей нагрузки, или все закладные стороны внутренних резьбовых участков могут начать контактировать одновременно.

Предпочтительно зазор, образованный между закладными сторонами внешних резьбовых участков наружной резьбы и внутренней резьбы после завершения свинчивания, имеет такую величину, что при приложении заданной осевой сжимающей нагрузки, меньшей, чем предельная сжимающая нагрузка ниппеля и муфты, ниппель и муфта деформируются таким образом, что закладные стороны внешних резьбовых участков наружной резьбы и внутренней резьбы начинают контактировать с тем, чтобы нести часть осевой сжимающей нагрузки. Закладные стороны внешних резьбовых участков могут контактировать различными способами в то время, когда они начинают контактировать; контакт может начинаться в заданном месте на внешних резьбовых участках, как определено вдоль направления оси трубы, и площадь контакта между закладными сторонами может постепенно расширяться по мере увеличения осевой сжимающей нагрузки, или все закладные стороны внешних резьбовых участков могут начать контактировать одновременно. Осевая сжимающая нагрузка, при которой закладные стороны внешних резьбовых участков начинают контактировать, может отличаться от осевой сжимающей нагрузки, при которой закладные стороны внутренних резьбовых участков начинают контактировать.

Предпочтительно резьбовое соединение для труб согласно настоящему изобретению удовлетворяет следующему выражению (1):

$$G \leq \alpha + \beta = \alpha + D_{sh} \times \tan 1^\circ \dots (1),$$

где G представляет собой размер зазора, образованного между закладными сторонами наружной резьбы и внутренней резьбы после завершения свинчивания, измеренного в направлении оси трубы, а D_{sh} представляет собой расстояние между радиально внешним краем поверхности промежуточного заплечика ниппеля и радиально внутренним краем поверхности промежуточного заплечика муфты как обозначается в продольном сечении после завершения свинчивания. Используемый здесь размер/измерение зазора, образованного между закладными сторонами, означает размер/измерение наименьшего участка зазора, образованного между закладными сторонами. Если размер зазора, образованного между закладными сторонами внутренних резьбовых участков отличается от размера зазора, образованного между закладными сторонами внешних резьбовых участков, меньший из них дает размер/измерение "зазора, образованного между закладными сторонами наружной и внутренней резьбы". Внешний периферийный край поверхности промежуточного заплечика ниппеля и внутренний периферийный край поверхности промежуточного заплечика муфты, предпочтительно, представляют собой правильный круг, и уравнение (1) может удовлетворяться в состоянии, когда ниппель и муфта являются правильно скрепленными без сжатия.

Предпочтительно осевое расстояние между местом, в котором начинается контакт между закладными сторонами внутренних резьбовых участков из-за приложения заданной осевой сжимающей нагрузки, с одной стороны, и поверхностями промежуточного заплечика, с другой стороны, обозначенное TL1, составляет от 0,8 до 1,2 раза, а более предпочтительно, от 0,9 до 1,1 раза осевого расстояния TL2 между местом, в котором начинается контакт между закладными сторонами внешних резьбовых участков из-за приложения заданной осевой сжимающей нагрузки, с одной стороны, и поверхностями промежуточного заплечика, с другой стороны. Это обеспечивает однородность между величиной относительного смещения тех участков закладных сторон внутренних резьбовых участков, которые начинают контактировать из-за деформации сжатия (т.е. величиной уменьшения размера зазора), с одной стороны, и величиной относительного смещения тех участков закладных сторон внешних резьбовых участков, которые начинают контактировать из-за деформации сжатия, с другой стороны. Это обеспечивает однородность между осевой сжимающей нагрузкой, при которой начинается контакт между закладными сторонами внутренних резьбовых участков, с одной стороны, и осевой сжимающей нагрузкой, при которой начинается контакт между закладными сторонами внешних резьбовых участков, с другой стороны.

Размер G зазора, образованного между закладными сторонами наружной резьбы и внутренней резьбы после завершения свинчивания, как измерено в направлении оси трубы, может быть, например, не более, чем 0,15 мм. В таких реализациях, в интегральном резьбовом соединении для труб с первой и второй трубами, имеющими внешние диаметры не менее 180 мм и менее 380 мм, а более предпочтительно, не менее 240 мм и менее 360 мм, закладные стороны наружной и внутренней резьбы начинают контактировать до того, как угол поворота заплечика промежуточных заплечиков превысит 1° .

Для предотвращения заедания во время свинчивания предпочтительно, чтобы размер G зазора, об-

разованного между закладными сторонами наружной резьбы и внутренней резьбы после завершения свинчивания, измеренный в направлении оси трубы, был не менее 0,06 мм.

Предпочтительно ниппель включает уплотняющую поверхность, расположенную дальше к концу ниппеля, чем наружная резьба (т.е. внутреннюю уплотняющую поверхность ниппеля); муфта включает уплотняющую поверхность, выполненную с возможностью контакта с уплотняющей поверхностью ниппеля, когда соединение свинчено (т.е. внутреннюю уплотняющую поверхность муфты), и внутреннюю канавку, предусмотренную в положении на внутренней периферии муфты между уплотняющей поверхностью и внутренней резьбой муфты, продолжающуюся по окружности, при этом внутренняя канавка выполнена с возможностью размещения части наружной резьбы ниппеля, когда соединение свинчено; и внутренняя канавка имеет нижнюю часть канавки с осевой шириной, меньшей, чем удвоенный шаг резьбы внутреннего резьбового участка наружной резьбы. В таких реализациях, поскольку внутренняя канавка, предусмотренная между уплотняющей поверхностью и внутренним резьбовым участком муфты, содержит часть наружной резьбы ниппеля, стабильная герметичность обеспечивается даже после многократного приложения нагрузки, как описано в Патентном документе 1. Дополнительно, нижний участок внутренней канавки, в котором существует критическое сечение муфты, имеет уменьшенную длину, тем самым увеличивая жесткость участка муфты в критическом сечении муфты и вблизи него, таким образом улучшая сопротивление сжатию.

Как обсуждалось выше, в двухступенчатом резьбовом соединении, имеющем поверхности промежуточного заплечика, поверхности промежуточного заплечика ниппеля и муфты имеют характеристику, заключающуюся в том, что угол θ поворота заплечика увеличивается по мере увеличения приложенной осевой сжимающей нагрузки. Предпочтительно угол θ поворота заплечика, при котором закладные стороны наружной резьбы и внутренней резьбы начинают контактировать, чтобы нести часть осевой сжимающей нагрузки, составляет менее 1° . Таким образом, закладные стороны наружной и внутренней резьбы начинают контактировать до того, как приращение угла поворота заплечика увеличивается до определенного уровня, и закладные стороны начинают воспринимать часть осевой сжимающей нагрузки, тем самым, предотвращая угол θ поворота заплечика от того, чтобы стать чрезмерно большим.

Конструкция резьбового соединения для труб нефтяной скважины

Ссылаясь на фиг. 3, резьбовое соединение для труб нефтяной скважины согласно настоящему варианту осуществления, обозначенное цифрой 1, представляет собой резьбовое соединение интегрального типа, которое включает трубчатый ниппель 2 и трубчатую муфту 3, выполненную с возможностью быть навинченной на ниппель 2, когда ниппель 2 вкручивается в нее. Ниппель 2 предусмотрен на конце трубы одной из первой и второй труб T1 и T2 нефтяной скважины, соединенных вместе, причем эта труба обозначена как T1, а муфта 3 предусмотрена на конце трубы другой трубы T2 нефтяной скважины. В расположении, в котором ниппель 2 на конце трубы первой трубы T1 нефтяной скважины вставлен в муфту 3 на конце трубы второй трубы T2 нефтяной скважины, чтобы максимально увеличить толщину стенки трубы ниппеля 2 и муфты 3, конец трубы, трубы T1 нефтяной скважины, который должен включать ниппель 2, обжимается, а трубный конец трубы T2 нефтяной скважины, который должен включать муфту 3, развальцовывается, и каждая из труб подвергается обрешетке после обжатия или развальцовки для получения ниппеля 2 и муфты 3.

На внешней периферии ниппеля 2 предусмотрены, начиная от центра трубы первой трубы T1 нефтяной скважины (т.е. слева на фиг. 3) по направлению к концу трубы (т.е. вправо на фиг. 3): внешняя уплотняющая поверхность 21 ниппеля, внешняя канавка 22, внешний резьбовой участок 23, образованный суживающейся резьбой, участок 24 без резьбы, имеющий внешнюю периферийную поверхность, прилегающую к впадине резьбы внешнего резьбового участка 23, ступенчатый участок, включающий поверхность 25 промежуточного заплечика, участок 26 без резьбы, включающий внешнюю периферийную поверхность, прилегающую к вершине резьбы внутреннего резьбового участка 27, внутренний резьбовой участок 27, образованный суживающейся резьбой, имеющей меньший диаметр, чем внешний резьбовой участок 23, и внутренняя уплотняющая поверхность 28 ниппеля. Внешний и внутренний резьбовые участки 23 и 27 вместе образуют наружную резьбу с двухступенчатой конструкцией резьбы.

На внутренней периферии муфты 3 предусмотрены, начиная от конца трубы второй трубы T2 нефтяной скважины (т.е. слева на фиг. 3) по направлению к центру трубы (т.е. вправо на фиг. 3): внешняя уплотняющая поверхность 31 муфты, внешний резьбовой участок 32, образованный суживающейся резьбой, участок 33 без резьбы, имеющий внутреннюю периферийную поверхность, прилегающую к вершине резьбы внешнего резьбового участка 32, ступенчатый участок, включающий поверхность 34 промежуточного заплечика, участок 35 без резьбы, прилегающий к впадине резьбы внутреннего резьбового участка 36, внутренний резьбовой участок 36, образованный суживающейся резьбой, имеющей меньший диаметр, чем внешний резьбовой участок 32, внутренняя канавка 37, и внутренняя уплотняющая поверхность 38 муфты. Внешний и внутренний резьбовые участки 32 и 36 вместе образуют внутреннюю резьбу с двухступенчатой конструкцией резьбы.

Когда ниппель 2 затягивается в муфту 3, поверхность 25 промежуточного заплечика ниппеля 2 контактирует с поверхностью 34 промежуточного заплечика муфты 3. Крутящий момент свинчивания в этот

момент иногда также называют крутящим моментом на заплечике. При дополнительном затягивании ниппеля 2 в муфте 3 скользящий контакт между поверхностями 25 и 34 промежуточного заплечика вызывает быстрое увеличение крутящего момента свинчивания. Таким образом, поверхности 25 и 34 промежуточного заплечика функционируют как заплечики для передачи крутящего момента. Поверхности 25 и 34 промежуточного заплечика или близлежащие участки и/или наружная/внутренняя резьбы разрушаются, когда крутящий момент затягивания превышает соответствующие крутящие моменты на пределе текучести, и крутящий момент затягивания больше не увеличивается, даже когда увеличивается величина поворота при затягивании. Следовательно, свинчивание должно быть завершено до того, как крутящий момент затягивания достигнет крутящего момента на пределе текучести.

В резьбовом соединении 1, после завершения свинчивания, закладные стороны внешнего резьбового участка 23 наружной резьбы и внешнего резьбового участка 32 внутренней резьбы находятся в контакте друг с другом, и закладные стороны внутреннего резьбового участка 27 наружной резьбы и внутреннего резьбового участка 36 внутренней резьбы находятся в контакте друг с другом. Дополнительно, после завершения свинчивания образуется небольшой зазор G между закладными сторонами внешнего резьбового участка 23 наружной резьбы и внешнего резьбового участка 32 внутренней резьбы, а также небольшой зазор G образуется между закладными сторонами внутреннего резьбового участка 27 наружной резьбы и внутреннего резьбового участка 36 внутренней резьбы. Эти зазоры G имеют такой размер, что при приложении заданной осевой сжимающей нагрузки, меньшей, чем сжимающая нагрузка текучести ниппеля 2 и муфты 3, ниппель и муфта упруго деформируются так, что закладные стороны внешних резьбовых участков 23 и 32 начинают контактировать, и закладные стороны внутренних резьбовых участков 27 и 36 начинают контактировать с тем, чтобы нести часть осевой сжимающей нагрузки. Сжимающая нагрузка текучести означает сжимающую нагрузку, при которой достигается предел текучести. Когда предел текучести превышен, пластическая деформация быстро прогрессирует в различных частях ниппеля 2 и муфты 3, так что ниппель и ниппель больше не могут выдерживать нагрузки, превышающие сжимающие нагрузки текучести, вызывая разрушение резьбового соединения 1.

Дополнительно, когда соединение свинчено, внешняя уплотняющая поверхность 21 ниппеля и внешняя уплотняющая поверхность 31 муфты находятся в контакте с взаимодействием по всей окружности, тем самым обеспечивая герметичность, главным образом, против внешних давлений. Когда соединение свинчено, внутренняя уплотняющая поверхность 28 ниппеля и внутренняя уплотняющая поверхность 38 муфты находятся в контакте с взаимодействием по всей окружности, что обеспечивает герметичность, главным образом, против внутренних давлений. Отмечено, что во время сжатия, участки ниппеля 2 вблизи внутренней уплотняющей поверхности стремятся деформироваться радиально внутрь для уменьшения их диаметра; если выполняется соотношение $\theta_r > \theta_b$, где θ_r представляет собой угол сужения внутренней уплотняющей поверхности 28 ниппеля, составляющей половину внутреннего уплотнения, а θ_b представляет собой угол сужения внутренней уплотняющей поверхности 38 муфты, составляющей другую половину, то положение контакта между уплотняющими поверхностями 28 и 38 находится относительно далеко от конца трубы ниппеля, что, как ожидается, смягчает эффекты деформации, уменьшающей диаметр, и приводит к улучшению герметичности при приложении сжимающей нагрузки.

Внешняя канавка 22 предусмотрена в месте на внешней периферии ниппеля между внешней уплотняющей поверхностью 21 ниппеля и внешним резьбовым участком 23. Внешняя канавка 22 продолжается по окружности и предпочтительно продолжается вдоль всей окружности. Внешняя канавка 22 может вмещать часть внешнего резьбового участка 32 внутренней резьбы муфты 3. Предпочтительно внешняя канавка 22 имеет нижнюю часть канавки с осевой шириной, которая в два раза меньше шага резьбы внешнего резьбового участка 32 муфты 3.

Внутренняя канавка 37 предусмотрена в месте на внутренней периферии муфты между внутренней уплотняющей поверхностью 38 муфты и внутренним резьбовым участком 36. Внутренняя канавка 37 продолжается по окружности, и предпочтительно, продолжается вдоль всей окружности. Внутренняя канавка 37 может вмещать часть внутреннего резьбового участка 27 наружной резьбы ниппеля 2. Предпочтительно, внутренняя канавка 37 имеет нижнюю часть 37а канавки с осевой шириной W, которая в два раза меньше шага резьбы внутреннего резьбового участка 27 ниппеля 2. Резьбовое соединение 1 имеет критическое сечение PCCS ниппеля, расположенное в пределах диапазона, связанного с внешней канавкой 22, и критическое сечение BSSC муфты в пределах диапазона, связанного с внутренней канавкой 37. Муфта 3 имеет промежуточное критическое сечение муфты VICCS, расположенное рядом с тем концом диапазона зацепления между внешним резьбовым участком 23 наружной резьбы и внешним резьбовым участком 32 внутренней резьбы, который находится ближе к поверхности 34 промежуточного заплечика. Ниппель 2 имеет промежуточное критическое сечение ниппеля PICCS, расположенное рядом с тем концом диапазона зацепления между внутренним резьбовым участком 27 наружной резьбы и внутренним резьбовым участком 36 внутренней резьбы, который находится ближе к поверхности 25 промежуточного заплечика.

Критическое сечение (CCS) означает вертикальное сечение соединения с наименьшей площадью для выдерживания растягивающей нагрузки, когда соединение свинчено. При приложении чрезмерной

осевой растягивающей нагрузки, соединение вероятно будет разрушено в месте критического сечения или около него. Передача растягивающей нагрузки от ниппеля и муфты в осевом направлении рассредоточена по всему диапазону зацепления резьбы. Таким образом, сечение ниппеля, на которое действует вся растягивающая нагрузка, расположено дополнительно по направлению к телу трубы ниппеля, чем диапазон зацепления резьбы, в то время как сечение муфты, на которое действует вся растягивающая нагрузка, расположено дополнительно по направлению к телу трубы муфты, чем диапазон зацепления резьбы. То из сечений, на которое действует вся растягивающая нагрузка, которое имеет наименьшую площадь, представляет собой критическое сечение. Отношение площади критического сечения к площади сечения тела трубы, трубы Г1 нефтяной скважины называется эффективностью соединения, которая является широко используемым показателем прочности на растяжение соединительного участка трубы для нефтяной скважины относительно предела прочности на растяжение тела трубы.

Вдобавок к критическому сечению ВССС муфты и критическому сечению РССС ниппеля резьбовое соединение 1 с двухступенчатой конструкцией резьбы имеет еще одно место с малым сечением соединения для выдерживания прочности на растяжение, расположенное в центральном участке соединения, как определено вдоль осевого направления. То есть, резьбовое соединение с двухступенчатой конструкцией резьбы имеет участок без резьбового зацепления в центральном его участке вдоль осевого направления. В этом сечении без резьбового зацепления, растягивающая нагрузка, воспринимаемая ниппелем и муфтой, передается в осевом направлении без увеличения или уменьшения. Таким образом, сечение ниппеля штифта с наименьшей площадью в сечении без резьбового зацепления представляет собой промежуточное критическое сечение ниппеля (PICCS), в то время как сечение муфты с наименьшей площадью в сечении без резьбового зацепления представляет собой промежуточное критическое сечение муфты (BICCS). Для предотвращения разрыва в центральном участке соединения, предпочтительно, максимизировать общую площадь промежуточных критических сечений ниппеля и муфты.

Когда соединение свинчено, участок 24 без резьбы ниппеля 2 вставлен в участок 33 без резьбы муфты 3, в то время как участок 26 без резьбы ниппеля 2 вставлен в участок 35 без резьбы муфты 3. Зазор образован между участками 24 и 33 без резьбы, и другой между участками 26 и 35 без резьбы.

Каждая из поверхностей 25 и 34 промежуточного заплечика образована плоской плоскостью, которая является перпендикулярной оси трубы, когда соединение не свинчено. Альтернативно, каждая из поверхностей 25 и 34 промежуточного заплечика может быть слегка наклонена от плоскости, перпендикулярной оси трубы, когда соединение не свинчено.

В резьбовом соединении 1 для труб нефтяной скважины согласно настоящему варианту осуществления, поверхности 25 и 34 промежуточного заплечика и внутренние резьбовые участки 27 и 36 наружной и внутренней резьб сконструированы таким образом, чтобы удовлетворять следующему выражению: (1):

$$G \leq 0,12 + D_{sh} \times \tan 1^\circ \dots (1).$$

Здесь G представляет собой размер зазора, образованного между закладными сторонами внутренних резьбовых участков 27 и 36 наружной и внутренней резьб после завершения свинчивания, измеренного в направлении оси трубы, а Dsh представляет собой расстояние между радиально внешним краем поверхности 25 промежуточного заплечика ниппеля 2 и радиально внутренним краем поверхности 34 промежуточного заплечика муфты 3 как обозначается в продольном сечении после завершения свинчивания. В настоящем варианте осуществления, размер зазора, образованного между закладными сторонами внешних резьбовых участков 23 и 32 наружной и внутренней резьб после завершения свинчивания, измеренного в направлении оси трубы, равен размеру зазора, образованного между закладными сторонами внутренних резьбовых участков 27 и 36 наружной и внутренней резьб после завершения свинчивания, измеренного в направлении оси трубы. В качестве альтернативы, размер зазора, образованного между закладными сторонами внешних резьбовых участков 23 и 32 наружной и внутренней резьб после завершения свинчивания, измеренного в направлении оси трубы, может отличаться от размера зазора, образованного между закладными сторонами внутренних резьбовых участков 27 и 36 наружной и внутренней резьб после завершения свинчивания, измеренного в направлении оси трубы; в таких реализациях также, предпочтительно, чтобы размер зазора, образованного между закладными сторонами внешних резьбовых участков 23 и 32 наружной и внутренней резьб после завершения свинчивания, измеренного в направлении оси трубы, также удовлетворял Выражению (1), приведенному выше.

Если внешний диаметр трубы Г1 нефтяной скважины, подлежащей соединению резьбовым соединением 1, не менее 180 мм и менее 380 мм, или, более предпочтительно, не менее 240 мм и менее 360 мм, то, предпочтительно, чтобы выполнялось $G \leq 0,15$ мм. Дополнительно, для предотвращения заедания во время свинчивания, предпочтительно, чтобы выполнялось $G \geq 0,06$ мм.

Настоящее изобретение может применяться не только к интегральным резьбовым соединениям, но также и к резьбовым соединениям муфтового типа. Дополнительно, каждая из резьб может быть, например, трапециевидной резьбой, круглой API резьбой, упорной API резьбой, или клиновидной резьбой. В противном случае, настоящее изобретение не ограничено иллюстрированными выше вариантами осуществления, и возможны различные модификации без отклонения от сущности настоящего изобретения.

Примеры

Для подтверждения эффектов резьбового соединения 1 для стальной трубы согласно настоящему варианту осуществления, моделирование проводилось с использованием численного анализа упругопластическим методом конечных элементов для оценки сопротивления сжатию.

Условия испытания

Основные размеры образцов резьбового соединения, испытанных в анализах, приведены в табл. 1. В табл. 1, Dout представляет собой внешний диаметр тела трубы, трубы T1 нефтяной скважины; Din указывает внутренний диаметр тела трубы, трубы T1 нефтяной скважины; JE указывает прочность соединения; TL1 указывает расстояние, измеренное в направлении оси трубы, между местом, в котором начинается контакт между закладными сторонами внутренних резьбовых участков 27 и 36 (в настоящем варианте осуществления, этот конец закладной стороны внутреннего резьбового участка 36 внутренней резьбы, который находится ближе к муфте тела трубы), с одной стороны, и поверхностями 25 и 34 промежуточного заплечика, с другой стороны; TL2 указывает расстояние, измеренное в направлении оси трубы, между местом, в котором начинается контакт между закладными сторонами внешних резьбовых участков 23 и 32 (в настоящем варианте осуществления, этот конец закладной стороны внешнего резьбового участка 23 наружной резьбы, который находится ближе к ниппелю тела трубы), с одной стороны, и поверхностями 25 и 34 промежуточного заплечика, с другой стороны; G указывает стыковочный зазор после завершения свинчивания; и W указывает осевую ширину нижней части внутренней канавки 27.

Для каждого испытываемого образца, унифицированным образом были использованы следующие условия: угол сужения резьбы на резьбовых участках 23, 27, 32 и 36 составлял $1,591^\circ$ (1/18), высота резьбы (измеренная на опорной стороне) составляла 1,3 мм, а шаг резьбы был 5,08 мм. Материал труб для нефтяной скважины был Q125 (номинальный предел текучести $YS=862$ МПа (125 тысяч фунтов на квадратный дюйм)).

Посредством моделирования был проведен анализ в условии нагрузки, при котором применялись простые сжимающие нагрузки, и в условии нагрузки, при котором применялись сложные нагрузки, имитирующие серию А испытаний в соответствии с API 5C5 CAL IV от 2017 г., показанных на фиг. 4 и 5. Фиг. 4 представляет собой диаграмму комплексной нагрузки, приложенной к испытываемым образцам с № 1 по № 10 с размером трубы 9 5/8" 47# (внешний диаметр тела трубы: 244,48 мм; внутренний диаметр тела трубы: 220,50 мм); и фиг. 5 представляет собой диаграмму комплексной нагрузки, приложенной к испытываемым образцам с № 11 по № 20 с размером трубы 13 3/8" 72# (внешний диаметр тела трубы: 339,73 мм; внутренний диаметр тела трубы: 313,61 мм). На чертежах "Сжатие" означает сжимающую нагрузку; "Растяжение" означает растягивающую нагрузку; "IP" означает внутреннее давление; "EP" означает внешнее давление; "VME 100% для труб" указывает кривую текучести тела трубы, трубы нефтяной скважины; "Прочность соединения" означает прочность соединения; "CYS" (что означает предел текучести соединения) означает предел текучести резьбового соединения; "CYS 100%" указывает кривую текучести резьбового соединения; "CYS 95%" указывает на кривую текучести для 95% из 100% CYS; "Высокое разрушение для соединения" указывает на кривую разрушения, возникающего в результате внешнего давления на резьбовое соединение. Кривая для "CYS 100%" была получена путем умножения осевой силы (сжатия или растяжения), указанной "VMA 100% для труб", на прочность соединения JE.

Для проверки сопротивления сжатию, авторы изобретения сосредоточили внимание на угле θ поворота поверхностей 25 и 34 промежуточного заплечика, которые несут основную часть сжимающей нагрузки, и определили, как этот угол θ поворота изменялся.

Таблица

Обозн.	Dout [мм]	Din [мм]	JE [%]	TL1 [мм]	TL2 [мм]	G [мм]	W [мм]	Прочее
№1	244,48	220,50	67,3	51,7	52,4	0,060	5,37	Пример изобр.
№2	244,48	220,50	67,3	51,7	52,4	0,105	5,37	Пример изобр.
№3	244,48	220,50	67,3	51,7	52,4	0,150	5,37	Пример изобр.
№4	244,48	220,50	67,3	51,7	52,4	0,200	5,37	Сравн. пример
№5	244,48	220,50	67,3	51,7	52,4	0,400	5,37	Сравн. пример
№6	244,48	220,50	67,3	51,7	52,4	0,060	10,45	Пример изобр.
№7	244,48	220,50	67,3	51,7	52,4	0,105	10,45	Пример изобр.
№8	244,48	220,50	67,3	51,7	52,4	0,150	10,45	Пример изобр.

№9	244,48	220,50	67,3	51,7	52,4	0,200	10,45	Сравни. пример
№10	244,48	220,50	67,3	51,7	52,4	0,400	10,45	Сравни. пример
№11	339,73	313,61	70,5	49,2	49,8	0,060	5,37	Пример изобр.
№12	339,73	313,61	70,5	49,2	49,8	0,105	5,37	Пример изобр.
№13	339,73	313,61	70,5	49,2	49,8	0,150	5,37	Пример изобр.
№14	339,73	313,61	70,5	49,2	49,8	0,200	5,37	Сравни. пример
№15	339,73	313,61	70,5	49,2	49,8	0,400	5,37	Сравни. пример
№16	339,73	313,61	70,5	49,2	49,8	0,060	10,45	Пример изобр.
№17	339,73	313,61	70,5	49,2	49,8	0,105	10,45	Пример изобр.
№18	339,73	313,61	70,5	49,2	49,8	0,150	10,45	Пример изобр.
№19	339,73	313,61	70,5	49,2	49,8	0,200	10,45	Сравни. пример
№20	339,73	313,61	70,5	49,2	49,8	0,400	10,45	Сравни. пример

Результаты вычисления

Фиг. 6-9 показывают графики сравнения углов поворота заплечика при приложении простых сжимающих нагрузок для разных размеров стыковочного зазора. Положительное значение указывает на растягивающую нагрузку, а отрицательное значение указывает на сжимающую нагрузку. Графики позволили авторам изобретения определить тенденцию, согласно которой чем меньше стыковочный зазор G , тем меньше угол поворота заплечика, независимо от диаметра трубы и размера внутренней канавки.

Для более подробного описания испытываемых образцов с № 1 по № 5 и с № 6 по № 10 было определено, что контакт между закладными сторонами начинается примерно при -2800 кН для испытываемых образцов № 5 и № 10, примерно при -2000 кН для испытываемых образцов № 4 и № 9, примерно при -1500 кН для испытываемых образцов № 3 и № 8, примерно при -1300 кН для испытываемых образцов №№ 2-7 и ниже -1000 кН для испытываемых образцов № 1 и № 6, что означает меньший наклон кривых, указывающих на угол поворота заплечика. Для испытываемых образцов № 4, № 5, № 9 и № 10, которые имели стыковочные зазоры больше чем 0,15 мм, закладные стороны контактировали после наклона кривой, указывающей, что угол поворота заплечика увеличился до определенного уровня, что предполагает большое повреждение поверхностей промежуточного заплечика.

Из результатов испытаний на комплексную нагрузку, показанных на фиг. 10-14, видно, что повреждения накапливаются на поверхностях промежуточного заплечика. Графики позволяют определить тенденцию накопления повреждений для каждого испытываемого образца в поверхностях промежуточного заплечика на начальных этапах нагружения, когда увеличивалась сжимающая нагрузка, т.е. на этапах с 7 по 11. Однако, как показано на фиг. 10, угол поворота заплечика оставался ниже 1° на всех этапах нагружения для испытываемых образцов № 1 и № 6, которые имели меньшие стыковочные зазоры, чем любые другие образцы. Как показано на фиг. 11, угол поворота заплечика поддерживался примерно между $1,3^\circ$ и $1,8^\circ$ на этапах нагружения 11 и далее, для испытываемых образцов № 2 и № 7, у которых стыковочные зазоры были меньше, чем у других испытываемых образцов, за исключением № 1 и № 6. Как показано на фиг. 12, в целом, такая же тенденция была определена для испытываемых образцов № 3 и № 8, которые имели стыковочный зазор 0,15 мм, то есть угол поворота заплечика сохранялся примерно на уровне $2,3^\circ$ на этапе 11 нагружения.

С другой стороны, фиг. 13 позволяет выявить тенденцию, заключающуюся в том, что для испытываемых образцов № 4 и № 9 со стыковочным зазором 0,2 мм угол поворота заплечика возрастал примерно до $3,0^\circ$ на этапе 11 нагружения, а при последующих этапах нагружения накапливались большие повреждения. Как показано на фиг. 14, для образцов № 5 и № 10 со стыковочным зазором 0,4 мм угол поворота заплечика превышал $4,0^\circ$ на этапе 11 нагружения и колебался на уровне около $3,5^\circ$ при последующих этапах нагружения.

Аналогичные тенденции могут быть очевидны из фиг. 15-19 для испытываемых образцов №11 - № 20 с различными диаметрами трубы.

Приведенные выше результаты показывают, что повреждение поверхностей промежуточного заплечика резьбового соединения для труб с двухступенчатой конструкцией резьбы можно эффективно уменьшить, если стыковочный зазор составляет 0,15 мм.

Дополнительно будет установлено из фиг. 10-19, что уменьшение ширины внутренней канавки 37 сохраняет угол поворота поверхностей промежуточного заплечика на более низком уровне, хотя и незначительно.

Таким образом, было продемонстрировано, что применение настоящего изобретения повышает сопротивление сжатию резьбового соединения для труб с двухступенчатой конструкцией резьбы.

Расшифровка ссылок

- 1 - резьбовое соединение для труб;
- 2 - ниппель;
- 23 - наружная резьба (внешний резьбовой участок);
- 27 - наружная резьба (внутренний резьбовой участок);
- 25 - поверхность промежуточного заплечика;
- 3 - муфта;
- 32 - внутренняя резьба (внешний резьбовой участок);
- 36 - внутренняя резьба (внутренний резьбовой участок);
- 34 - поверхность промежуточного заплечика.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Резьбовое соединение для труб, содержащее трубчатый ниппель и трубчатую муфту, при этом ниппель и муфта выполнены с возможностью свинчивания при ввинчивании ниппеля в муфту,

при этом ниппель включает наружную резьбу, имеющую внутренний резьбовой участок и внешний резьбовой участок, разнесенные друг от друга в осевом направлении, и поверхность промежуточного заплечика, предусмотренную между внутренним резьбовым участком и внешним резьбовым участком наружной резьбы,

муфта включает в себя внутреннюю резьбу, имеющую внутренний резьбовой участок, выполненный с возможностью зацепления с внутренним резьбовым участком наружной резьбы, когда соединение свинчено, и внешний резьбовой участок, выполненный с возможностью зацепления с внешним резьбовым участком наружной резьбы, когда соединение свинчено, и поверхность промежуточного заплечика, предусмотренную между внутренним резьбовым участком и внешним резьбовым участком внутренней резьбы, и выполненную с возможностью контакта с поверхностью промежуточного заплечика ниппеля, когда соединение свинчено,

наружная резьба и внутренняя резьба выполнены таким образом, что после завершения свинчивания опорные стороны наружной резьбы и внутренней резьбы находятся в контакте друг с другом, а между закладными сторонами наружной резьбы и внутренней резьбы образован зазор,

зазор, образованный между закладными сторонами наружной резьбы и внутренней резьбы после завершения свинчивания, имеет такой размер, что при приложении заданной осевой сжимающей нагрузки, меньшей, чем сжимающая нагрузка текучести ниппеля и муфты, ниппель и муфта деформируются таким образом, что закладные стороны наружной резьбы и внутренней резьбы начинают контактировать с тем, чтобы нести часть осевой сжимающей нагрузки, и

резьбовое соединение для труб удовлетворяет следующему выражению (1):

$$G \leq 0,12 + D_{sh} \times \tan 1^\circ \dots (1),$$

где G представляет собой размер зазора, образованного между закладными сторонами наружной резьбы и внутренней резьбы после завершения свинчивания, измеренного в направлении оси трубы, а D_{sh} представляет собой расстояние между радиально внешним краем поверхности промежуточного заплечика ниппеля и радиально внутренним краем поверхности промежуточного заплечика муфты, как обозначается в продольном сечении после завершения свинчивания,

при этом осевое расстояние между местом, в котором начинается контакт между закладными сторонами внутренних резьбовых участков из-за приложения заданной осевой сжимающей нагрузки, с одной стороны, и поверхностями промежуточного заплечика, с другой стороны, составляет от 0,8 до 1,2 раза, осевого расстояния между местом, в котором начинается контакт между закладными сторонами внешних резьбовых участков из-за приложения заданной осевой сжимающей нагрузки, с одной стороны, и поверхностями промежуточного заплечика, с другой стороны.

2. Резьбовое соединение для труб по п.1, в котором $G \leq 0,15$ мм удовлетворяется.

3. Резьбовое соединение для труб по п.1 или 2, в котором $G \geq 0,06$ мм удовлетворяется.

4. Резьбовое соединение для труб по пп.1, 2 или 3, в котором

ниппель имеет уплотняющую поверхность, расположенную дальше к концу ниппеля, чем наружная резьба;

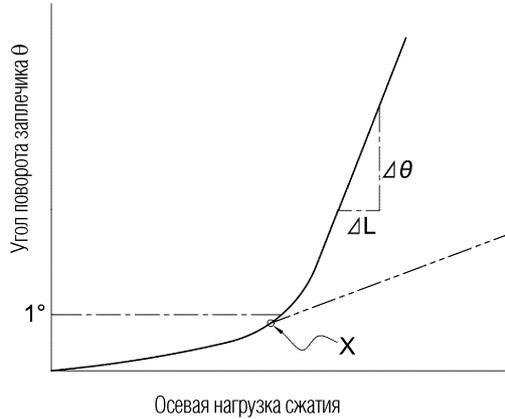
муфта включает уплотняющую поверхность, выполненную с возможностью контакта с уплотняющей поверхностью ниппеля, когда соединение свинчено, и внутреннюю канавку, предусмотренную на внутренней периферии муфты между уплотняющей поверхностью и внутренней резьбой муфты и продолжающуюся по окружности, при этом внутренняя канавка выполнена с возможностью размещения части наружной резьбы ниппеля, когда соединение свинчено; и

внутренняя канавка имеет нижнюю часть канавки с осевой шириной, меньшей, чем удвоенный шаг резьбы наружной резьбы.

5. Резьбовое соединение для труб по любому одному из пп.1-4, в котором поверхности промежуточного заплечика ниппеля и муфты имеют характеристику, заключающуюся в том, что угол θ поворота заплечика увеличивается по мере увеличения приложенной осевой сжимающей нагрузки, а угол θ пово-

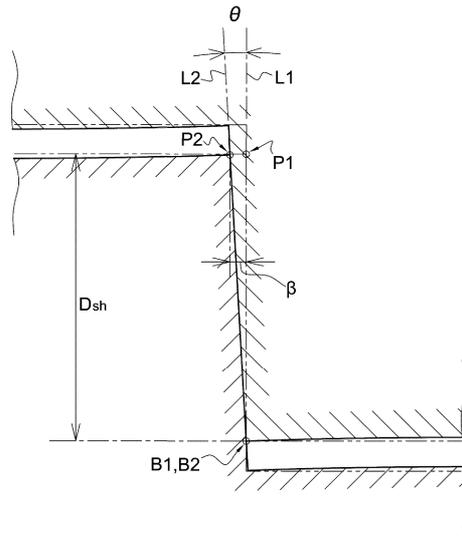
рота заплечика, при котором закладные стороны наружной резьбы и внутренней резьбы начинают контактировать, чтобы воспринимать часть осевой сжимающей нагрузки, составляет менее 1° ,

где угол θ поворота заплечика представляет собой угол, образованный между прямой линией, проходящей через радиально внешний край поверхности промежуточного заплечика ниппеля, и радиально внутренний край поверхности промежуточного заплечика муфты, как обозначается в продольном сечении после завершения свинчивания, с одной стороны, и прямой линией, проходящей через радиально внешний край поверхности промежуточного заплечика ниппеля и радиально внутренний край поверхности промежуточного заплечика муфты, как обозначается в одном и том же продольном сечении при приложении осевой сжимающей нагрузки.

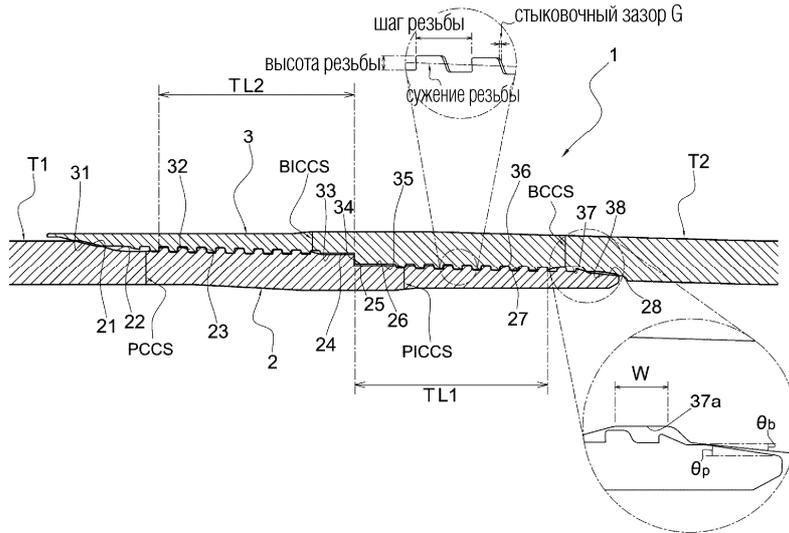


Осевая нагрузка сжатия

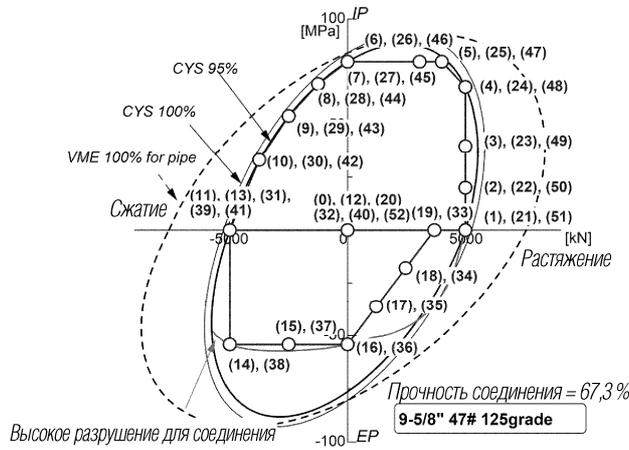
Фиг. 1



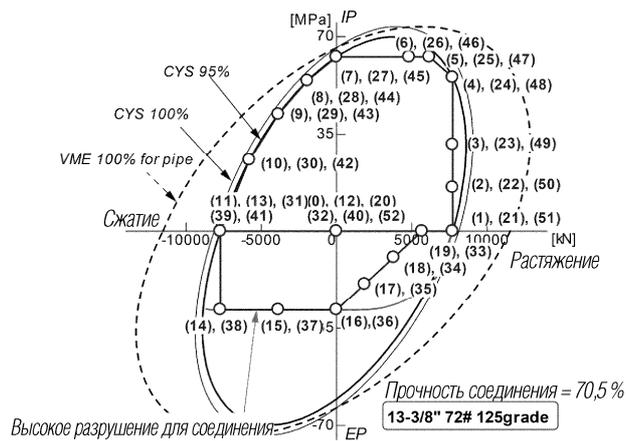
Фиг. 2



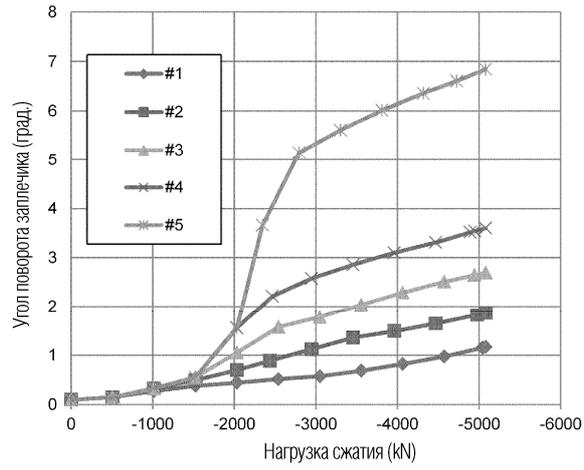
Фиг. 3



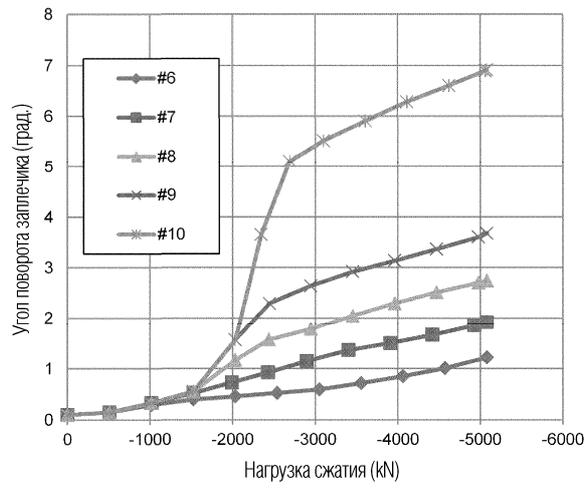
Фиг. 4



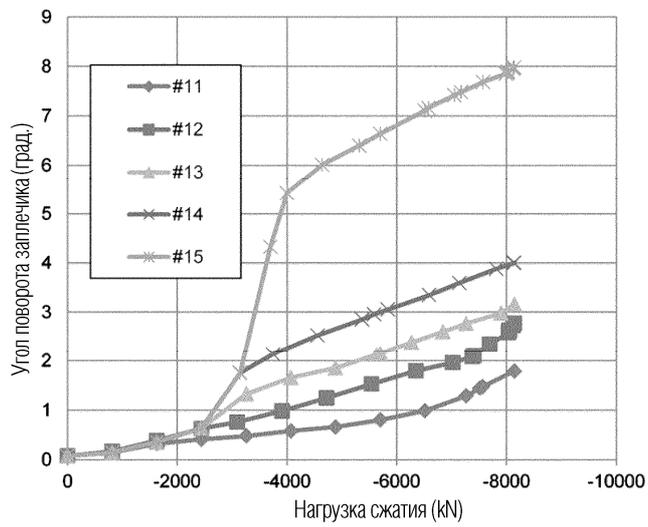
Фиг. 5



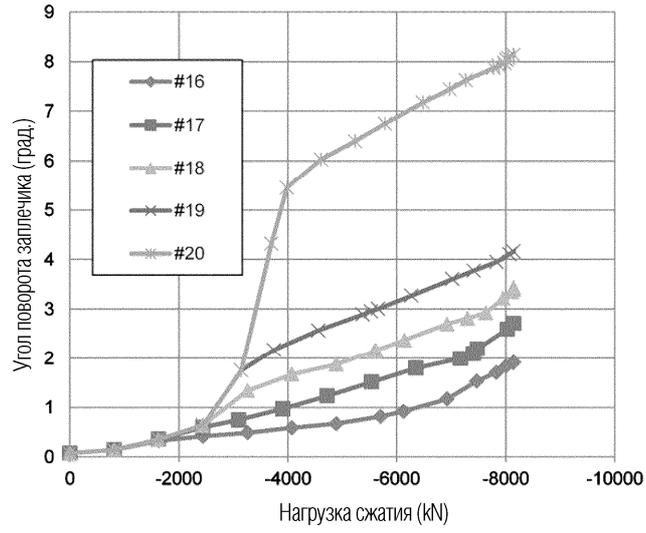
Фиг. 6



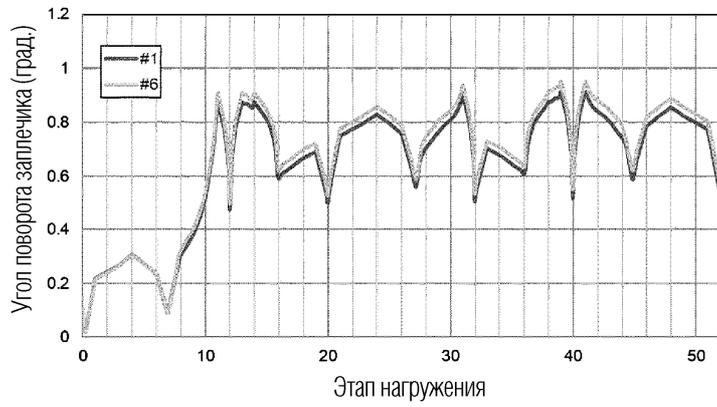
Фиг. 7



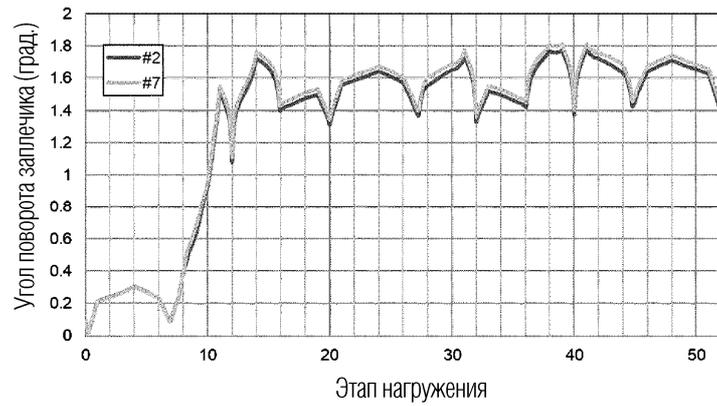
Фиг. 8



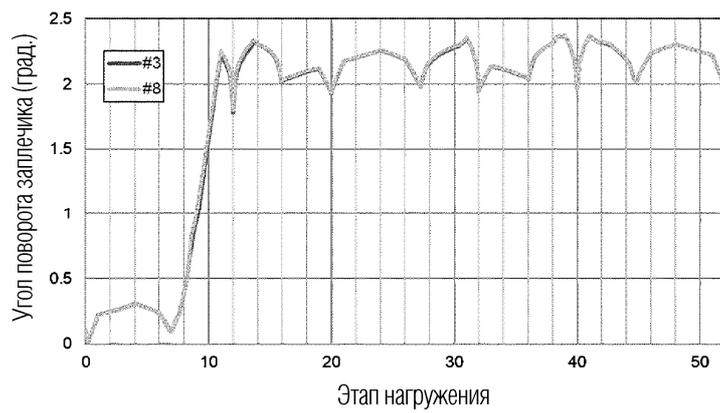
Фиг. 9



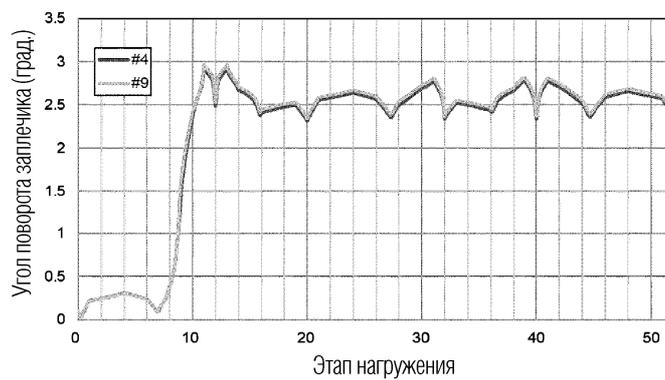
Фиг. 10



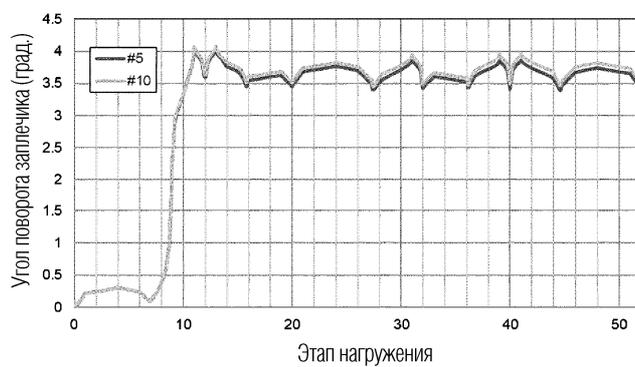
Фиг. 11



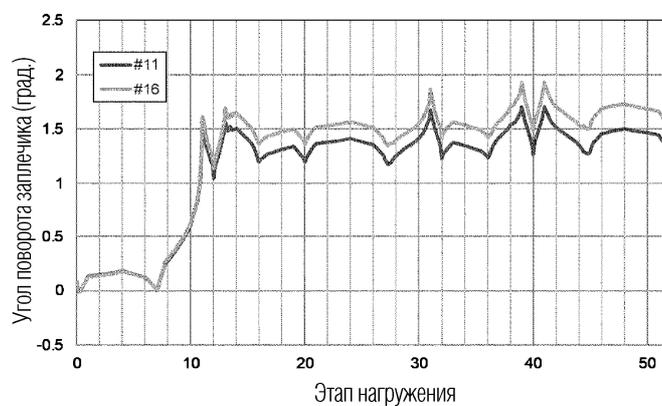
Фиг. 12



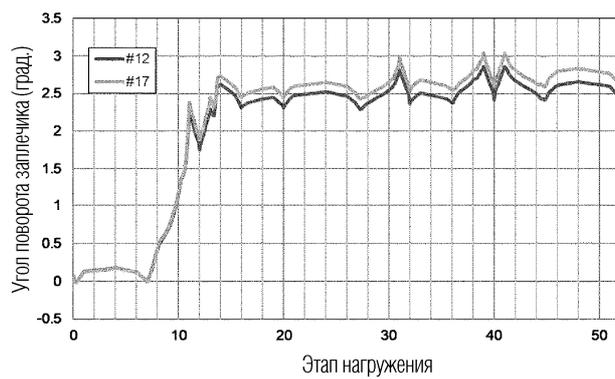
Фиг. 13



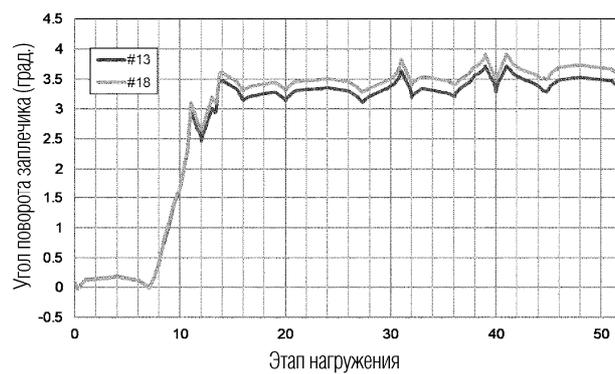
Фиг. 14



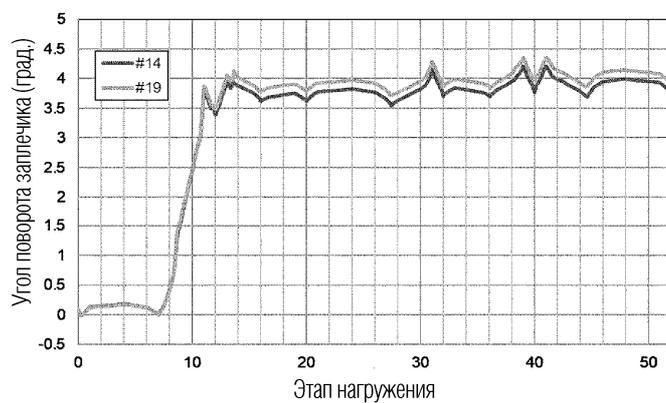
Фиг. 15



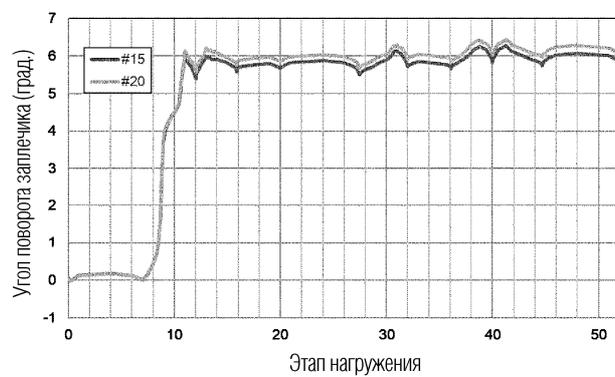
Фиг. 16



Фиг. 17



Фиг. 18



Фиг. 19

