

УДК 621.643.41

Т.А. Кузнецова, канд. техн. наук, доц.,
 А.П. Зиборов, канд. техн. наук, доц.,
 Л.И. Чернуха, Т.Г. Скворцова

Государственное высшее учебное заведение „Национальный
 горный университет“, г. Днепропетровск, Украина,
 e-mail: ch_girl@i.ua

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОЕДИНЕНИЙ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ГЛУБОКОВОДНЫХ ТРУБ БОЛЬШИХ ДИАМЕТРОВ (РАЙЗЕРОВ). 3. БАЙОНЕТНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ РАЙЗЕРОВ

T.A. Kuznetsova, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,
 A.P. Ziborov, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,
 L.I. Chernukha, T.G. Skvortsova

State Higher Educational Institution “National Mining
 University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: ch_girl@i.ua

DEVELOPMENT PROSPECTS OF VERTICAL JOINTS OF LARGE DIAMETER DEEP-WATER PIPES (RISERS). 3. BAYONET CONNECTIONS OF RISERS

Цель. Разработать новые варианты байонетных трубных соединений, включающих специальные дополнительные элементы для обеспечения напряженного состояния, предотвращающих рассоединение глубоководных труб, а также позволяющих производить быстрый монтаж-демонтаж.

Методика. Исследования проводились на основе критического анализа порядка 1200 конструкций отечественных и зарубежных патентов, научного обобщения и систематизации конструкций, отвечающих предъявляемым требованиям к трубным соединениям, внесения авторами инновационных изменений в конструкцию байонетного соединения.

Результат. Критериями отбора нужных конструкций для анализа являлись: простота монтажа-демонтажа соединения при высокой нагрузке и многократной сборке-разборке, что имеет большое значение в сложных условиях эксплуатации, а именно изменение вертикальной нагрузки за счет волнения моря. Следовательно, наиболее приемлемыми для использования в заданных условиях эксплуатации являются байонетные соединения, которые обеспечивают возможность осуществлять быстрый монтаж-демонтаж трубного става при малом количестве деталей соединения. Однако байонетные соединения имеют ряд недостатков, среди которых такие как невозможность создания первоначального напряжения, а возможность саморазъединения ставят под сомнение целесообразность байонетных соединений без доработки их конструкций. Именно поэтому введением специального дополнительного элемента в байонетное соединение достигается первоначальное напряжение, а также снижается возможность саморазъединения соединения.

Научная новизна. Для обеспечения напряженности байонетного соединения предлагается использовать упругие кольца, тарельчатые пружины, размещаемые в пространстве между торцовыми поверхностями концов трубных секций, или накидную резьбовую втулку, навинчиваемую на ниппельный конец трубной секции и тем самым отжимающую раструбный конец соседней секции.

Практическая значимость. Разработанные варианты байонетных трубных соединений, обеспечивающие напряженное состояние и предотвращающие от рассоединения глубоководных труб, могут быть внедрены в морской буровой технике нефтяной и газовой отраслей промышленности.

Ключевые слова: труба, соединение, байонет, нагрузка, прочность, надежность, простота конструкции

Введение. В настоящее время в морской буровой технике при добыче газа, нефти и газогидратов со дна моря применяют вертикальные трубные ставы больших диаметров – райзеры. Анализ порядка 1200 патентов показал, что для использования в данных условиях приемлемы всего лишь несколько типов трубных соединений.

Для заданных условий эксплуатации при соединении труб больших диаметров могут быть использованы резьбовые, байонетные, фланцевые, хомутные соединения и с запирающими собачками. Особенно перспективны резьбовые [1], байонетные и фланцевые соединения.

Цель. На основе требований к трубным соединениям [2], предлагается разработка новых конструк-

ций байонетных соединений, лишенных существующих недостатков.

Предлагаемые конструкции должны отвечать следующим требованиям:

- высокая прочность при многократном соединении/разъединении концов труб;
- простота сборки/разборки;
- первоначальные затраты;
- успешность применения данной конструкции в прошлом.

Байонетные соединения довольно широко применяются для соединений труб. К их достоинствам можно отнести:

- быстрота монтажа/демонтажа;
- малое количество деталей;
- простота достижения соосности.

К недостаткам байонетных соединений можно отнести:

- невозможность создания первоначального напряженного соединения;
- сложность фиксации от разъединения;
- сложность уплотнения;
- возможность саморазъединения;
- непригодность при осевых и боковых нагрузках переменной величины.

Особый интерес представляет байонетное соединение согласно патенту США №4209191 (рис. 1).

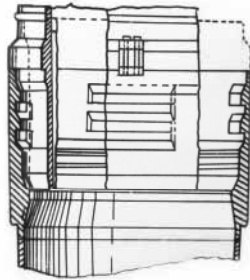


Рис. 1. Трубное соединение, патент США №4209191

В нем удачно сочетаются малые габариты, быстрота сборки, простота конструкции, способность выдерживать большие осевые нагрузки. Однако элемент фиксации от разъединения недостаточно надежен, а конструкция не обеспечивает стабильное напряжение соединения. В целом, с учетом указанных дополнений, соединение может быть принято для перспективных соединений труб больших диаметров.

Специальное соединение типа байонет вполне пригодно для заданных условий эксплуатации ввиду очевидных преимуществ за исключением, по нашему мнению, двух обстоятельств.

Из-за специфики сборки соединение в исходном виде ненапряженное, т.е. имеется возможность, в силу имеющихся, пусть даже минимальных, зазоров, перемещения элементов относительно друг друга в осевом направлении. Фиксирующий от поворота элемент в виде винтов, по всей видимости, ненадежен.

Для бурения на очень больших глубинах превосходную работу показала муфта колонны с вращающимся кольцом. Эта муфта распределяет осевое усилие по всей окружности, минимизируя тем самым концентрацию напряжений и усиливая усталостную прочность без предварительного напряжения. Предел прочности на растяжение для 18 5/8 – дюймовой (47,3 см) муфты превышает 4,6 млн фунтов (2100 тонн).

Муфта имеет большой допуск на несоосность. После захвата трубы втулкой муфты соединение осуществляется поворотом вращающегося кольца только на 1/8 его длины для получения сопряжения двух рядов зацепляющихся зубьев по всей окружности.

Вполне приемлемым для рассматриваемых условий эксплуатации следует признать конструкцию трубного соединения типа байонет (патент Франции № 2432672), в котором имеется два ряда расположенных в шахматном порядке зубьев и резьбовая втулка (рис. 2) или муфта с клиновыми элементами,

которые обеспечивают постоянство первоначального натяга и предотвращают рассоединение.

В данном примере имеются в виду патенты Франции №2432672, №2464426, №2526517 или соединения подобные им.

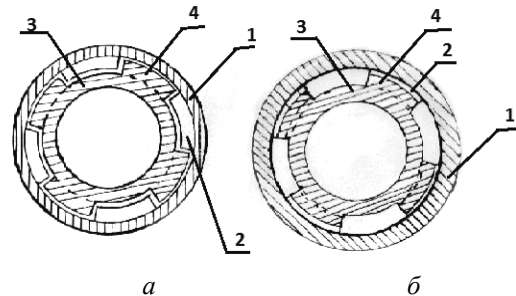


Рис. 2. Трубное соединение, патент Франции №2432672: а) до поворота; б) после поворота; 1 – раструб; 2 – зуб раструба; 3 – шпатель; 4 – зуб шпателя

Заслуживает внимания водоотделяющая колонна фирмы „Крюзо-Дуар“ (Франция) длиной 4000 футов (1229 м), которая была установлена за 20 часов и поднята за 12. Кроме того, эта колонна была опущена с бурового судна „Дискавэрр Сэвент Сиз“ в течение 42 часов при скорости ветра 30–50 мил/час (13,4–17,9 м/с) и высоте волны 12 футов (3,7 м), не получив при этом никаких повреждений.

Эти соединения представляют особый интерес, т.к. в них прослеживается усовершенствование конструкции. Причем, принцип и расположение зубьев байонета во всех трех патентах оставлен без изменений.

Меняется соединительный элемент, который в первом патенте выполнен в виде различного вида резьбовых втулок, во втором – также в виде резьбовой втулки, но уже с опорной поверхностью, и в третьем патенте использована втулка, на которой расположены зубья, входящие в зацепление с концом второй трубы. Резьбовое соединение в третьем патенте отсутствует (в силу очевидных недостатков), а напряжения соединения осуществляются несколькими клиновыми втулками, расположенными радиально в месте конца второй трубы.

Этот тип соединения имеет много положительных качеств, соответствует большинству основных требований, предъявляемых к трубным соединениям, и может быть рекомендован для рассматриваемых условий эксплуатации. Технологические трудности, которые могут иметь место при изготовлении, преодолеваются при соответствующей подготовке производства.

Соединение муфты новой водоотделающей колонны для бурения фирмы „Хай드릴“ регулируется не величиной приложенного крутящего момента, а конструктивным и физическим расположением полу-муфт. В любой момент во время сборки каждое звено колонны быстро может быть подвергнуто равномерному высокому предварительному напряжению. В результате получают прочное, жесткое, стабильное соединение с осесимметричным распределением на-

грузки, обеспечивающее большую усталостную долговечность. В соединении используется байонет, в котором имеется защелка для запирания соединения и поддержания предварительного напряжения. Стабильное расчетное предварительное напряжение муфты достигается поворотом механического кольца на 10–12 градусов.

Для обеспечения напряженности соединения предлагается использовать упругие кольца (рис. 3, а), тарельчатые пружины, размещаемые в пространстве между торцовыми поверхностями концов трубных секций, или накидную резьбовую втулку, навинчиваемую на ниппельный конец трубной секции и, тем самым, отжимающую раструбный конец соседней секции.

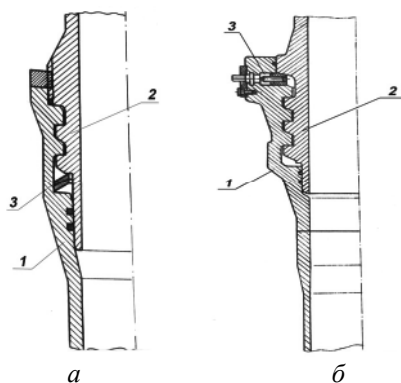


Рис. 3. Предлагаемые байонетные соединения: а) с упругим кольцом в пространстве между последним зубом раструба и ниппеля: 1 – раструбная часть трубы; 2 – ниппельная часть трубы; 3 – кольцо из упруго-пластичного материала; б) с клиновым механизмом: 1 – раструбная часть трубы; 2 – ниппельная часть трубы; 3 – клиновидный механизм

По нашему мнению, по аналогии с передачей нагрузки в резьбовом соединении [1], в соединении типа байонет достаточно иметь два ряда зубьев, как в патенте США № 4209191. Технологическим процессом изготовления крайне тяжело достичь такой точности изготовления, чтобы обеспечить равномерную передачу нагрузки по трем, расположенным параллельно друг над другом, поверхностям, поэтому один ряд зубьев, вполне возможно, окажется бесполезным и потому не нужным элементом.

Исходя из требования, обеспечить предварительное напряжение в соединении, авторами статьи разработаны варианты байонетных соединений: байонетное соединение с упругим кольцом (рис. 3, а) и байонетное соединение с клиновым механизмом (рис. 3, б). Предварительно натяжение в соединении в осевом направлении создается после сборки соединения путем введения клинового элемента, расположенного в верхней части раструбного конца трубной секции в специальном гнезде, и вращения винта, проходящего через стенку раструба. При этом сам винт не смещается, так как закреплен от осевого смещения упорной планкой, крепящейся посредством нескольких винтов к раструбу. Вращение от винта передается на клиновый механизм, который перемещается в радиальном

направлении и расклинивает соседние секции, создавая тем самым напряжение в соединении.

Клиновый механизм представляет собой втулку с внутренней резьбой. На его наружной поверхности выполнены канавки под уплотнительные кольца. На правом конце этого механизма под определенным углом выполнена наклонная плоскость (лыска под углом к образующей наружной цилиндрической поверхности). На буртике ниппельной части выполнена под таким же углом наклонная плоскость, взаимодействующая с наклонной плоскостью клинового механизма.

Таких расклинивающих механизмов по периметру раструба может быть несколько (например, четное, по числу рабочих участков байонетного соединения).

Помимо основного назначения – создать в соединении предварительное напряжение – такая конструкция позволит зафиксировать соединяемые соседние секции от поворота. Это возможно осуществить путем выполнения на клиновом механизме дополнительной плоской поверхности, которая сможет контактировать с такой же поверхностью на ниппельной части соединения.

Расположение этих поверхностей, размещенных друг против друга клиновых механизмов с зеркальным отражением, позволит надежно фиксировать соединение от поворота без применения дополнительных стопорящих элементов.

Кроме того, в предлагаемом варианте байонетного соединения введено еще одно уплотнение от внешнего давления и изменен узел примыкания торцов ниппельного конца к раструбу.

Во всех разработанных вариантах байонетных соединений концевые части (ниппели и раструбы) привариваются к трубе. Прочность материала сварного шва оказывается ниже прочности материала трубы. Чтобы добиться равнопрочности сварного соединения можно пойти по пути увеличения площади сварного шва за счет утолщения конца трубы. Утолщения же концов трубы возможно достичь лишь путем высадки. Но утолщение на высадку оказывает вредное влияние на качество материала и затрудняет обеспечение однородности термообработки, особенно при закалке в воде. Последнее обстоятельство исключает использование охрупчивающихся сталей, закаливаемых в воде, и приводит к необходимости использования подобных сталей, но закаливаемых на воздухе.

Дефектоскопия без разрушения сильно утолщенных концов принципиально является неудовлетворительной, в то время как высадка увеличивает опасность образования дефектов. Если исходить из того, что длина трубной секции 12 метров, то на один подъемный трубопровод потребуется порядка 500 секций. С учетом этого (и обязательных запасных секций) производство трубных соединений можно отнести к разряду среднесерийного. Таким образом, учитывая приведенные замечания по вопросу накладываемых ограничений на процесс изготовления элементов трубного соединения, современные тенденции, сложившиеся в области металлообработки, а также ограниченность или полное отсутствие отдельных данных,

необходимых для количественной оценки себестоимости (трудоемкости) изделия, ограничимся лишь качественной оценкой технологичности, разработанных нами вариантов байонетного соединения.

Для всех рассматриваемых вариантов термическая обработка и режимы сварки будут одинаковыми. Отличие будут составлять только лишь операции механической обработки.

Исходя из условия, что трудоемкость изготовления детали находится в прямой зависимости от объема механической обработки, можно указать, что наиболее трудоемким является вариант байонетного соединения, представленный на рис. 3, б, в то время как вариант на рис. 3, а выглядит предпочтительнее.

Вывод. Наиболее целесообразным для заданных условий эксплуатации являются соединения типа байонетных, которые соответствуют, в основном, предъявляемым требованиям. Для обеспечения напряженного состояния и предотвращения от рассоединения такие соединения должны иметь специальные детали: упругие кольца (рис. 3, а), тарельчатые пружины, клиновые элементы (рис. 3, б), резьбовые втулки и пр.

Список литературы / References

1. Перспективы развития соединений вертикальных глубоководных труб большого диаметра (райзеров). 2. Резьбовые соединения райзеров / Кузнецова Т.А., Зиборов А.П., Чернуха Л.И., Марьенко В.Н. // Научный вестник Национального горничого университета.– Днепропетровськ, 2010.– №6.– С. 69–75.

Kuznetsova, T.A., Ziborov, A.P., Chernukha, L.I. and Marenko, V.N. (2010), "Prospects for development of joints of deep-water vertical pipes of large diameter (raisers). Threaded connections of raisers", *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, no.6, pp. 69–75.

2. Перспективы развития соединений вертикальных глубоководных труб большого диаметра (райзеров). 1. Разработка требований к трубным соединениям / Кузнецова Т.А., Зиборов А.П., Чернуха Л.И., Захаренко В.А. // Научный вестник Национального горничого университета.– Днепропетровськ, 2010.– №5.– С. 84–89.

Kuznetsova, T.A., Ziborov, A.P., Chernukha, L.I. and Zakharenko, V.A. (2010), "Prospects for development of joints of deep-water vertical pipes of large diameter (raisers). Development of requirements for pipe joints", *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, no.5, pp. 84–89.

Мета. Розробити нові варіанти байонетних трубних з'єднань, включають спеціальні додаткові елементи для забезпечення напруженого стану, що запобігають роз'єднанню глибоководних труб, а також дозволяють проводити швидкий монтаж-демонтаж.

Методика. Дослідження проводилися на основі критичного аналізу близько 1200 конструкцій вітчизняних та зарубіжних патентів, наукового узагальнення та систематизації конструкцій, що відповідають вимогам до трубних з'єднань, внесення авторами інноваційних змін в конструкцію байонетного з'єднання.

Результат. Критеріями відбору необхідних конструкцій для аналізу були: простота монтажу-демонтажу з'єднання при високому навантаженні та багаторазовому збиранні-розбиранні, що має велике значення в складних умовах експлуатації, а саме зміна вертикального навантаження за рахунок хвилювання моря. Отже, найбільш прийнятними для використання в заданих умовах експлуатації є байонетні з'єднання, що забезпечують можливість здійснювати швидкий монтаж-демонтаж трубного става при малій кількості деталей з'єднання. Однак байонетні з'єднання мають ряд недоліків, серед яких такі як неможливість створення первісної напруги, а можливість самороз'єднання ставити під сумнів доцільність байонетних з'єднань без доопрацювання їх конструкцій. Саме тому введенням спеціального додаткового елемента в байонетне з'єднання досягається первісне напруження, а також знижується можливість самороз'єднання з'єднання.

Наукова новизна. Для забезпечення напруженості байонетного з'єднання пропонується використання пружних кілець, тарільчастих пружин, що розміщуються у просторі між торцевими поверхнями кінців трубних секцій, або накидну різьбову втулку, що нагвинчується на ніпельний кінець трубної секції і тим самим віджимає розтрубний кінець сусідньої секції.

Практична значимість. Розроблені варіанти байонетних трубних з'єднань, що забезпечують напружений стан і запобігають від роз'єднання глибоководних труб, можуть бути впроваджені в морську бурову техніку нафтової та газової галузей промисловості.

Ключові слова: труба, з'єднання, байонет, навантаження, міцність, надійність, простота конструкції

Purpose. To develop new variants of bayonet pipe connections which will include special additional elements assuring tension in order to prevent disconnection of deep-water pipes and allowing fast mounting and dismantling.

Methodology. Studies were carried out on the basis of critical analysis of about 1200 national and foreign patent constructions, scientific generalization and systematization of constructions corresponding to the pipe connection requirements.

Findings. The selecting criteria of necessary constructions to analyze were: easiness of mantling and dismantling at high loads and multiple assembling and disassembling, which is very important in difficult operating conditions caused by the change of the vertical load due to sea waves. Therefore bayonet connections appeared the most acceptable for use in such conditions as they provide fast installation and removal of pipe compositions with the small number of connection parts. However, the bayonet connections have some disadvantages, for example, impossibility of initial stress creation. Thus possibility of self-disconnecting brings into question the rationality of use of the bayonet connection without its design improvement. We can achieve the initial stress creation by introduction of an additional special element in the bayonet connection which will decrease the possibility of self-disconnecting.

Originality. To provide intensity of the bayonet connections we suggest using elastic rings, disc springs placed in the space between the face ends of pipe sections or union threaded bushing screwed on the nipple end of the pipe section and therefore squeezing the bell-mouthed end of the connection section.

Practical value. Developed variants of bayonet pipe connections can be implemented into offshore drilling

equipment used in petroleum and gas industry, provide state of tension and prevent disconnection of deep-water pipes.

Keywords: pipe, connection, bayonet, tension, durability, reliability, simplicity of design

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук С.С. Блохіним. Дата находження рукопису 07.11.11.

УДК 622.673.1; 621.778.27

**К.С. Заболотный, д-р техн. наук, проф.,
М.А. Рутковский**

Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“, г. Днепропетровск, Украина,
e-mail: gem99@mail.ru

ПОЛУЭМПИРИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ОБОБЩЕННОЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЕЧАЙКИ БАРАБАНА ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ МАШИНЫ

**K.S. Zabolotny, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
M.A. Rutkovskiy**

State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: gem99@mail.ru

SEMIEMPIRICAL METHOD OF CREATION OF GENERALIZED PARAMETER-ORIENTED MODEL OF MINE HOIST DRUM SHELL

Цель. Разработка метода построения обобщенной параметрической модели обечайки барабана шахтной подъемной машины на основе его представления как системы с сосредоточенными и распределенными по пространству параметрами.

Методика. Разработанный метод предусматривает, что для описания объекта применяется упрощенная модель, в которой используются коэффициенты, определенные опытным путем и подобранные таким образом, чтобы расчетные и экспериментальные данные хорошо согласовывались.

Результат. В результате разработан полуэмпирический метод, который состоит в том, что для расчета изгиба профилированной обечайки барабана шахтной подъемной машины используется аналитическая модель осесимметричной оболочки с эквивалентными механическими характеристиками, включающими коэффициенты согласования с эмпирическими данными.

Научная новизна. Определение зависимости усредненной изгибной жесткости от геометрических параметров обечайки с учетом коэффициента уменьшения жесткости.

Практическое значение. Разработанный метод позволит обоснованно подойти к выбору параметров барабанов шахтных подъемных машин, а его применение в проектировании позволит создать конкурентоспособные на мировом рынке подъемные установки, отличающиеся уменьшенной массой, повышенной прочностью и долговечностью. В сравнении с применяемыми ранее методами, данный метод позволит в несколько раз сократить трудоемкость прочностных расчетов цилиндрических барабанов подъемных машин.

Ключевые слова: подъемная машина, обечайка, обобщенная параметрическая модель, полуэмпирический метод

Постановка проблемы. В современных условиях возрастающей технологической конкуренции большое значение имеет сокращение сроков разработки новых конструкций машин, а также повышение их качества и надежности. В связи с этим оптимальное проектирование занимает одну из основных позиций при создании современных конкурентоспособных машин.

Моделирование конструкции машины как дискретно-континуальной взаимодействующей системы позволяет определить зависимости между ее параметрами, необходимые для оптимального проектирования.

Одной из крупнейших, представляющих собой дискретно-континуальную систему, является шахтная

подъемная машина (ШПМ) с разрезным цилиндрическим барабаном, которую производят в ЗАО „Ново-Краматорский машиностроительный завод“ (ЗАО „НКМЗ“). Но машины этого типа имеют высокую металлоемкость по сравнению с импортными аналогами, что снижает их конкурентоспособность на внешнем рынке.

Анализ публикаций. Исследованием подъемных машин в разное время занимались Б.А. Морозов, Б.Г. Климов, Б.И. Давыдов, Б.С. Ковальский, З.М. Федорова, А.П. Нестеров, Ф.Л. Шевченко, С.Н. Зинченко, К.С. Заболотный. Почти все работы этих ученых посвящены исследованию напряженно-деформированного состояния (НДС) барабанов ШПМ и определению их рациональных параметров