

# Cyclic Strength of ESP Intersection Connections

# Циклическая прочность межсекционных соединений УЭЦН

By A.N. Komarov, Yu.I. Uliyanov

А. Н. Комаров, Ю.И. Ульянов

Oil production equipment unification and interchangeability of assemblies and parts of various manufacturers are urgent matters for repair services, oil companies, and equipment producers.

Design of duplicate parts manufactured in accordance with oil companies' specifications is quite diversified, which complicates inventory stock accounting, storage, and shipping. This variety results in issuing of numerous design documents, continuous realignment of equipment, and fabrication of additional processing and measuring instruments. Unification should be achieved by selecting the most preferable equipment option in terms of enhanced reliability and constructability.

Thus, computations have been made to analyze the cyclic strength of bolted flange connection bases of four different designs.

This analysis has been made using a finite element method and design standards established for nuclear power engineering. It has been assumed that the connection bears an internal pressure of 42 MPa that corresponds to 3,000 m setting depth, and a 1,400 N/m<sup>3</sup> density of formation fluid with the pressure cycle changing from zero to the maximum value at a temperature of 100°C. Equipment submersible assemblies weight and case bending have been ignored while setting and at the setting depth.

Figure 1 shows that the maximum tensile stresses are within fillet junction between the flange and the wall. These stresses are smaller in assemblies designed with eight bolts as compared to assemblies with six bolts, because in the former the flange is more equally pressed down to the counterpart.

Data on cyclic strength comparative analysis of the bases is given in Table 1.

It is worth mentioning that analysis has been conducted ignoring bending stresses, which affect cyclic strength parameters.

For checking computations, base specimens have been forwarded to IMASH Resurs LLP and tested at MTS-50, an electrohydraulic test machine by MTS Systems Corporation (USA).

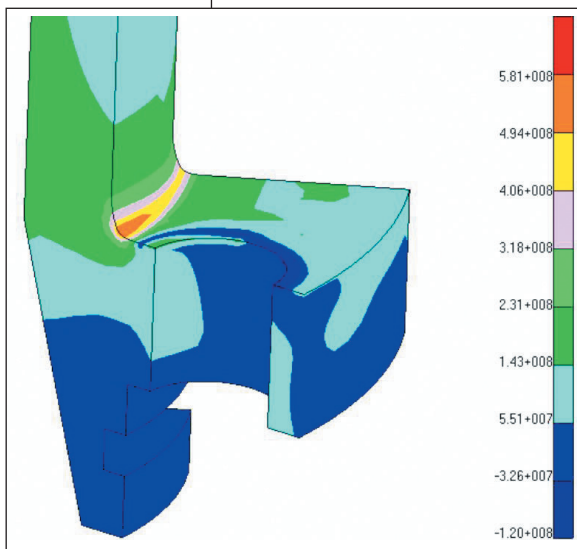
Вопрос унификации нефтедобывающего оборудования, взаимозаменяемость узлов и деталей разных производителей актуален не только для производителей оборудования, ремонтных предприятий, но и для самих нефтяных компаний (НК).

Многообразие вариантов исполнения однотипных деталей, выпускаемых по техническим требованиям НК, усложняет учет, хранение и отгрузку продукции, приводит к выпуску большого объема конструкторско-технологической документации, постоянной переналадке оборудования, изготовлению дополнительного обрабатывающего и мерительного инструмента. Однако сама унификация должна проводиться на основе выбора наиболее предпочтительного варианта исполнения с точки зрения повышения надежности и технологичности оборудования.

С этой целью были проведены расчеты циклической прочности оснований фланцево-болтовых соединений 4-х типов, отличающихся друг от друга конструктивно.

Использовали метод конечных элементов, методику правил и норм, принятую в атомной энергетике. В расчетах принималось, что соединение нагружено внутренним давлением 42 МПа, соответствующим глубине подвески 3000 м и плотности пластовой жидкости 1400Н/м<sup>3</sup>, давление изменяется циклически от нуля до максимального значения, температура 100°C. Не учитывались масса узлов погружного агрегата, изгиб корпуса при спуске и в зоне подвески.

Как видно из рис.1 наибольшие напряжения растяжения в зоне галтельного перехода между фланцем и стенкой. В конструкциях с восемью болтами эти напряжения меньше, чем в конструкциях с шестью, так как в этом случае фланец более равномерно прижат к ответной детали.



● Fig. 1. Direction of the maximum tension stress in the area of journal and base flange conjugation  
● Рис. 1. Наибольшие напряжения растяжения в зоне галтельного перехода между фланцем и стенкой

**AUTHORS' BIOS. BORETS Production Company LLP:**  
A.N. Komarov - Chief of Design Center;  
Yu.I. Uliyanov, Chief of Sales Engineering Support Department

**Об АВТОРАХ. ООО «Производственная Компания «БОРЕЦ»:**  
А.Н. Комаров – начальник расчетного центра;  
Ю.И. Ульянов – начальник отдела инженерной поддержки продаж

● Table 1. Results of comparative calculation of connection cyclic strength  
 ● Таблица 1. Результаты сравнительного расчета циклической прочности соединений

| Specimen No.<br>№ образца               | Detail Drawing No.<br>№ чертежа детали                                  | Base cyclic strength // Циклическая прочность основания   |
|---|---|---|
|   |   | Number of starts and stops of the submersible unit at 42 MPa pressure till crack formation // Число включений и выключений погружного агрегата при давлении 42 МПа до образования трещины |
| 1                                       | 4E-UE186.003 (6 bolts M12x1.25)<br>4Э-УЭ186.003 (6 болтов М12х1,25)     | 220000  |
| 2                                       | 2UE186.003-02 (6 bolts M12x1.25)<br>2УЭ186.003-02 (6 болтов М12х1,25)   | 220000  |
| 3                                       | BND-249.00.001 (8 bolts M12x1.25)<br>БНД-249.00.001 (8 болтов М12х1,25) | 170000  |
| 4                                       | 8UE186.003 (8 bolts M12x1.25)<br>8УЭ186.003 (8 болтов М12х1,25)         | 400000  |
| Calculated area<br>Рассчитываемое место |   | Pump base transition fillet near the bolt<br>Галтель перехода основания рядом с болтом  |

Special high strength bolts manufactured by IMASH Resurs have been used to connect the head to the base. The bolts' parameters are M12x1,25, 6gx35 10.9 029p (HC.073.02); steel grade is 30 HGSA. The bolts have been tightened by a wrench with a torque of 55 N·m. The loading pattern has been cyclic tension stress with a zero-to-tension stress cycle, a cycling frequency of 2 Hz, a maximum testing pressure of  $P_{max} = 169,600$  N, and minimum testing pressure of  $P_{min} = 0...2,500$  N.

While testing, crack initiation has been registered visually by means of a lens with sevenfold magnification.

Design features of specimens and test results are presented below (Figure 2).

Fracture pattern is presented on Figure 3.

Figure 2 displaying the base drawings, shows that designs have varied in a number of tension bolts, flange thickness, shape of neck-to-flange junction, and diametric dimensions.

Testing has proved that reliability of bolted flange connection is subject to a base design. No destructions of high

Результаты сравнительного расчета циклической прочности рассматриваемых оснований приведены в табл.1.

Здесь надо отметить, что расчёты проводились без учета изгибающих напряжений, которые влияют на показатели циклической прочности.

С целью проверки произведенных расчетов образцы оснований были переданы в ООО «ИМАШ ресурс» и испытаны на электрогидравлической машине МТС-50 производства компании MTS Systems Corporation (США).

Для соединения головки с основанием были использованы специальные высокоресурсные болты производства ООО «ИМАШ ресурс» M12x1,25 6gx35 10.9 029p (HC.073.02), изготовленные из стали 30ХГСА. Болты затягивались гаечным ключом с моментом затяжки 55 Н·м. Схема нагружения - циклическое растяжение. Цикл нагружения - отнулевой, частота нагружения 2 Гц. Образцы испытывались при нагрузке  $P_{max} = 169\ 600$  Н. Минимальное значение нагрузки  $P_{min} = 0...2500$  Н.

**1** 4E-UE186.003 ΔØ19  
4Э-УЭ186.003 ΔØ19

|  |           |
|--|-----------|
| Number of cycles till crack formation<br>Циклов до появления трещины | 669,000   |
| Number of cycles till crack formation<br>Циклов до разрушения        | 1,044,100 |

**2** 2UE186.003-02 ΔØ16  
2УЭ186.003-02 ΔØ16

|  |           |
|--|-----------|
| Number of cycles till crack formation<br>Циклов до появления трещины | 370,000   |
| Number of cycles till crack formation<br>Циклов до разрушения        | 1,123,500 |

**3** BND-249.00.001 ΔØ19  
БНД-249.00.001 ΔØ19

|  |           |
|--|-----------|
| Number of cycles till crack formation<br>Циклов до появления трещины | 370,000   |
| Number of cycles till crack formation<br>Циклов до разрушения        | 1,123,500 |

**4** 8UE186.003 ΔØ17  
8УЭ186.003 ΔØ17

|  |           |
|--|-----------|
| Number of cycles till crack formation<br>Циклов до появления трещины | 370,000   |
| Number of cycles till crack formation<br>Циклов до разрушения        | 1,123,500 |

**1** 4E-UE186.003  
43-V3186.003



**2** 2UE186.003-02  
2V3186.003-02



**3** BND-249.00.001  
БНД-249.00.001



**4** 8UE186.003  
8V3186.003



strength fasteners have been observed in connections with 6 or 8 bolts. Bolt destruction in specimen No. 1 (Figure 3) has occurred only after initiation of fatigue cracking in the flange and its reaching the hole.

Test results have proved that destruction of any base occurs within the fillet junction. In some cases (specimens 1 and 3, Figure 3) cracking may reach the hole. Specimens 3 and 4 have been registered to have minimum durability as compared to specimens 1 and 2 with maximum durability.

Based on experimental data of base cyclic strength, it can be assumed that connections with six bolts are more preferable than those with eight bolts providing different flange thickness and shape of neck-to-flange fillet junction. However, it is necessary to increase the number of tests in order to make more affirmative conclusions. On the basis of research study [1] that describes the results of similar testing, cyclic strength of duplicate connections was endured for 698,300 cycles, 997,200 cycles and 1,225,400 cycles at a less pressure of  $P_{max} = 135,640$  N. Thus, the results obtained in this study are to be considered as a probabilistic estimate.

At the same time, cyclic strength of bolted flange connections is about 2.5 times higher than that of the connections manufactured previously, the test results of which were presented in study [1].

## Conclusions:

1. Reliability of a flange bolted connection tightened with high strength fasteners at a specified torque is limited by the base fatigue properties.
2. The base design applying connections with eight bolts (M12x1,25) does not result in enhanced cyclic strength.
3. BORETS Production Company applies the obtained results for selecting high strength bases.
4. Further testing is required with an increased number of life test specimens for analyzing fatigue resistance of bolted flange connections, including those made by various manufacturers.

The authors thank N.I. Smirnov, Candidate of Engineering Sciences, for assistance in the article preparation. ●

### References:

1. N.I. Smirnov, N.N. Smirnov, Durability and Wear Resisting Properties of Pumps (Designs, Tests, Technologies). Data of All-Russia Engineering Conference on ESP (Electrical Submersible Pumping Systems) Manufacturing and Operation; Nov. 1-4, 2000, Almet'yevsk

В процессе испытаний визуально с помощью лупы с семикратным увеличением фиксировалось появление трещины.

Конструктивные особенности образцов и результаты испытаний представлены на рис.2.

Характер разрушения показан на рис.3.

Как видно из чертежей оснований на рис.2, конструктивные отличия состояли в количестве стяжных болтов, толщине фланцев, форме перехода от шейки к фланцу и диаметральных размерах.

Принципиальным результатом испытаний является тот факт, что надёжность фланцево-болтового соединения определяется конструкцией основания. Не наблюдались разрушения ресурсного крепежа ни в 6-ти, ни в 8-ми болтовых соединениях. Разруше-

ние болта на образце №1 (рис.3) произошло лишь после возникновения усталостной трещины во фланце и развития ее на значительную длину до отверстия.

Результаты испытаний показали, что разрушение оснований всех типов происходит в зоне галтельного перехода. В некоторых случаях (образец 1,3, рис.3) трещина развивается к отверстию. Минимальная долговечность была отмечена у образцов 3 и 4, максимальная - у образцов 1 и 2.

Анализируя значение циклической долговечности оснований можно предположить, что шестиболтовые соединения предпочтительнее восьмиболтовых при разной толщине фланцев и форме галтельного перехода от шейки к фланцу. Однако для более утвердительного вывода число испытаний должно быть увеличено. Как следует из работы [1], где приведены результаты аналогичных испытаний, циклическая долговечность одного типа соединения имела значения 698 300, 997 200, 1 225 400 циклов при меньшей величине нагружения  $P_{max} = 135 640$  Н, т.е. полученные в настоящей работе результаты необходимо рассматривать в вероятностном аспекте.

Вместе с тем, циклическая долговечность исследованных фланцево-болтовых соединений приблизительно в 2,5 раза выше, чем соединений, выпускавшихся ранее и результаты испытаний по которым приведены в работе [1].

## Выводы:

1. Надёжность фланцево-болтового соединения, стянутого ресурсным крепежом, при нормированном уровне затяжки лимитируется усталостными характеристиками основания.
2. Применение восьмиболтового соединения (болты M12x1,25) в данных конструкциях оснований не повышает циклическую долговечность соединения.
3. Полученные результаты используются в Компании «Борец» для выбора высокоресурсного основания.
4. Необходимы дальнейшие испытания на усталостную прочность фланцево-болтовых соединений с увеличенной выборкой, в том числе и других производителей.

Авторы благодарят к.т.н. Смирнова Н.И. за оказанную помощь в подготовке статьи. ●

### Литература:

1. Смирнов Н.И., Смирнов Н.Н. Прочность и износостойкость насосов (расчет, испытания, технология). Материалы IX Всероссийской технической конференции «Производство и эксплуатация УЭЦН», 1-4 ноября 2000г., г. Альметьевск.