



## Циклическая прочность межсекционных соединений установок центробежных электронасосов

А.Н. Комаров, Ю.И. Ульянов  
(ООО «Производственная Компания «БОРЕЦ»)

### Cyclic strength of electrical submersible pumping system interchock connections

A.N. Komarov, Yu.I. Ulyanov  
(Industrial company Borets OOO)

**В**опрос унификации нефтепромыслового оборудования, взаимозаменяемость его узлов и деталей, выпускаемых разными производителями, актуален не только для нефтяных компаний и ремонтных предприятий, но и для самих производителей оборудования.

Многообразие вариантов исполнения однотипных деталей по техническим требованиям нефтяных компаний, приводит к выпуску большого объема конструкторско-технологической документации, постоянной переналадке оборудования, изготовлению дополнительного обрабатывающего и измерительного инструмента, усложняет учет, хранение и отгрузку продукции. 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 четырех типов, отличающихся друг от друга конструктивно, с использованием метода конечных элементов, методики правил и норм, принятой в атомной энергетике. В расчетах принимали, что соединение нагружено внутренним давлением 42 МПа, соот-

ветствующим глубине подвески 3000 м и удельному весу пластовой жидкости 1400 Н/м<sup>3</sup>. Давление изменялось циклически от нуля до максимального значения, температура равнялась 100 °С. Не учитывали массу узлов погружного агрегата, изгиб корпуса при спуске и в зоне подвески.

Как видно из рис. 1, наибольшие напряжения растяжения отмечаются в зоне галтельного перехода между фланцем и стенкой. В конструкциях с восемью болтами они меньше, чем в конструкции с шестью, так как фланец более равномерно прижат к ответной детали. Результаты сравнительного расчета циклической прочности рассматриваемых оснований приведены в

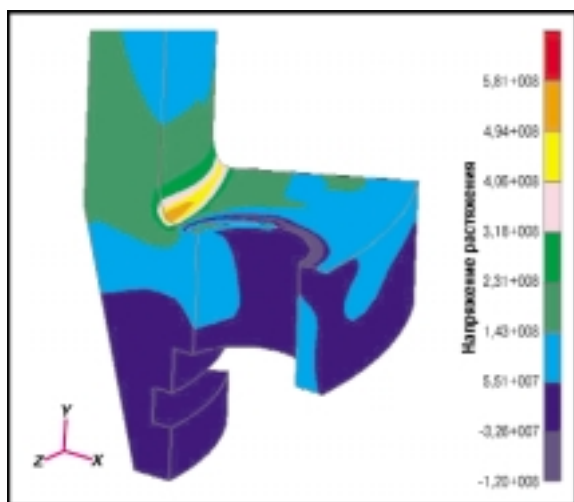


Рис. 1. Распределение напряжений растяжения в зоне галтельного перехода между фланцем и стенкой

образца	Номер	Циклическая прочность основания (число включений и выключений погружного агрегата при давлении 42 МПа до образования трещины)
	чертежа детали	
1	4Э-УЭ186.003 (шесть болтов М12×1,25)	220000
2	2УЭ186.003-02 (шесть болтов М12×1,25)	220000
3	БНД-249.00.00 1 (восемь болтов М12×1,25)	170000
4	8УЭ186.003 (восемь болтов М12×1,25)	400000

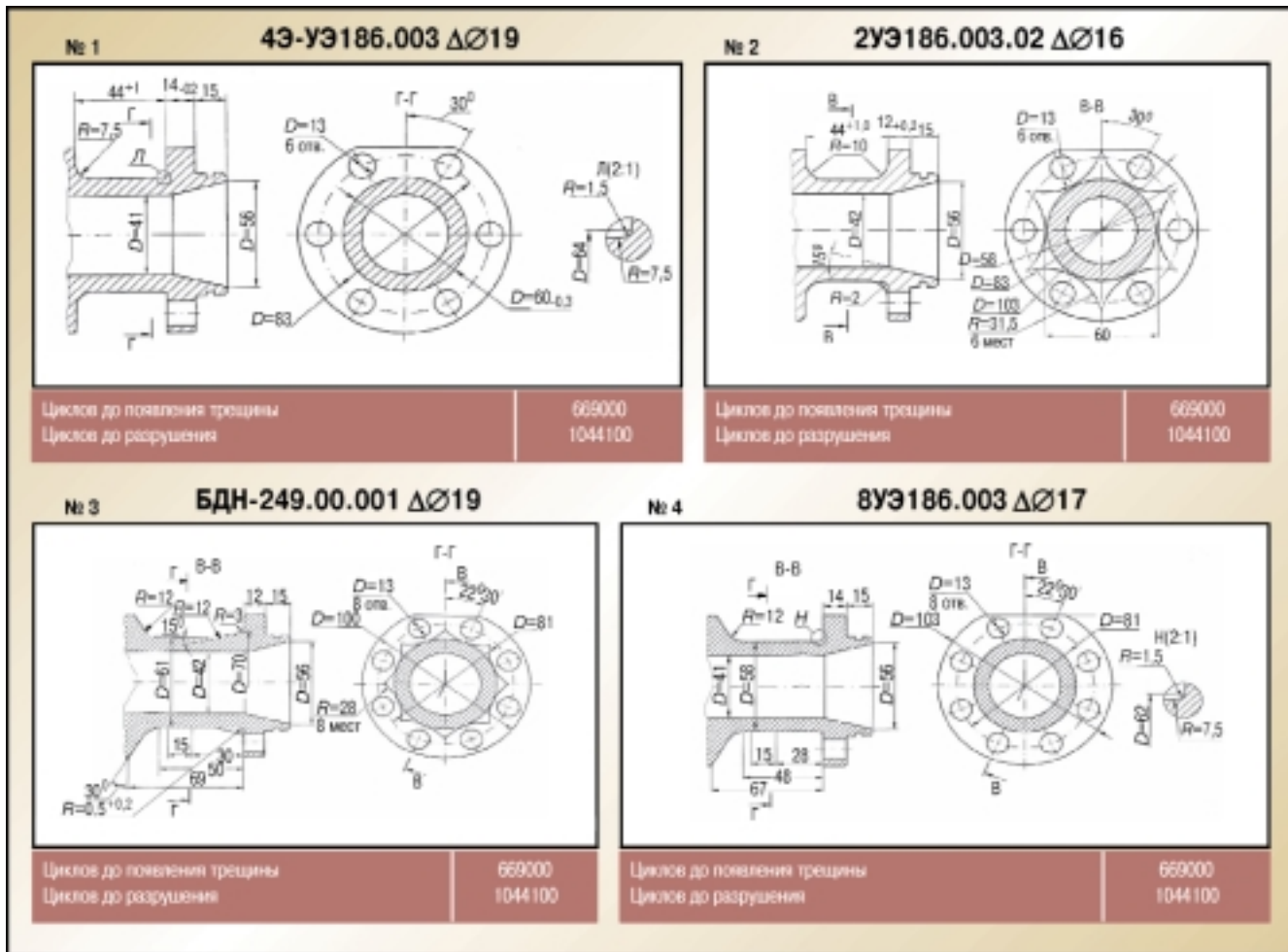


Рис. 2. Результаты испытаний образцов

таблице. Расчеты выполнялись для галтели перехода основания рядом с болтом без учета изгибающих напряжений, которые влияют на показатели циклической прочности. С целью проверки полученных результатов 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 высоко-ресурсные болты производства ООО «ИМАШ ресурс» М12×1,25 6g×35 10.9 029p (НС.073.02), изготовленные из стали 30ХГСА. Болты затягивали гаечным ключом с моментом затяжки 55 Н·м. Схема нагружения – циклическое растяжение, цикл нагружения – отнулевой, частота нагружения – 2 Гц. При нагрузке  $P_{max}=135640$  Н испытания проводили до 500000 циклов или разрушения. Неразрушившиеся образцы испытывали при нагрузке  $P_{max}=169600$  Н; минимальное значение нагрузки изменялось от 0 до 2500 Н. В процессе испытаний

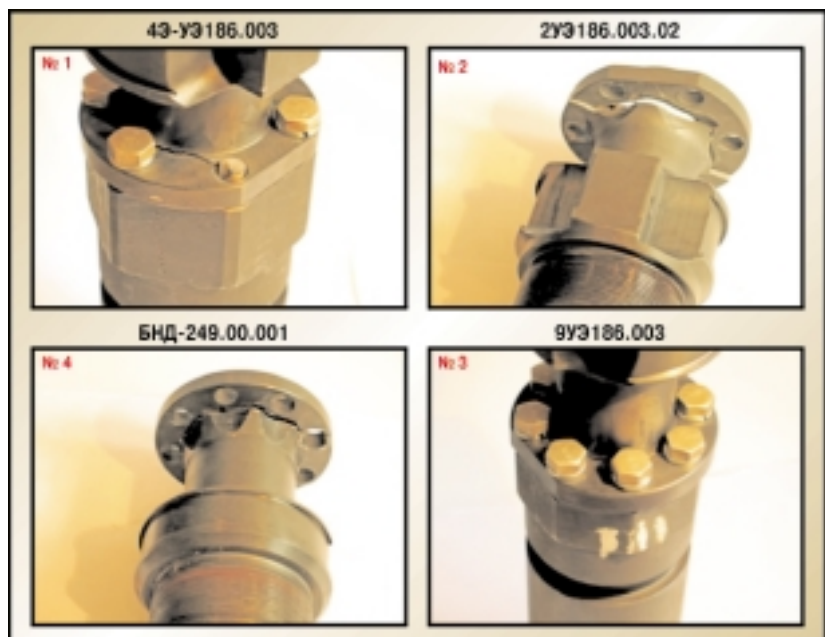


Рис. 3. Характер разрушения образцов

визуально с помощью лупы с семикратным увеличением фиксируют появление трещины.

Конструктивные особенности образцов и результаты испытаний представлены на рис. 2, характер разрушения показан на рис. 3. Как видно из рис. 2, конструктивные отличия состояли в количестве стяжных болтов, толщине фланцев, форме перехода от шейки к фланцу и диаметральным размерам.

Принципиальным результатом испытаний является то, что надежность фланцево-болтового соединения определяется конструкцией основания. Разрушения ресурсного крепежа не было ни в шестиболтовых, ни в восьмиболтовых соединениях. Разрушения болта на образце № 1 (см. 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. Иногда (см. рис. 3, образцы № 1, 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 лучше восьмиболтовых при разных толщине фланцев и форме галтельного перехода от шейки к фланцу. Однако для более утвердительного вывода число испытаний должно быть увеличено. Из

результатов аналогичных испытаний<sup>1</sup>, проведенных Н.И. Смирновым и Н.Н. Смирновым, следует, что циклическая долговечность одного типа соединения составляла 698300, 997200, 1225400 циклов при меньшей нагрузке  $P_{\max} = 135640$  Н, т.е. представленные в данной статье 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, результаты испытаний которых приведены в работе Н.И. Смирнова и Н.Н. Смирнова.

#### **Выводы**

**1.** Надежность фланцево-болтового соединения, стянутого ресурсным крепежом, при нормированном уровне затяжки лимитируется усталостными характеристиками основания.

**2.** Применение восьмиболтового соединения (болты М12×1,25) в указанных конструкциях оснований не повышает циклическую долговечность соединения.

**3.** Необходимы дальнейшие испытания на усталостную прочность фланцево-болтовых соединений с увеличенной выборкой.

*Авторы благодарят Н.И. Смирнова за оказанную помощь в подготовке статьи.*

<sup>1</sup>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.