

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Нигматуллина Владимира Игоревича «Разработка методов оценки циклических и статических свойств металлических материалов с учетом особенностей технологических построечных операций и возможных режимов эксплуатации корпусов подводных объектов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.01 – Теория корабля и строительная механика

### **Объем и структура диссертации.**

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, приложений и списка цитируемой литературы. Работа изложена на 118 страницах, включая 40 рисунков, 6 таблиц, 3 приложения и список литературы из 38 источников.

### **Актуальность.**

Внедрение в судостроение новых корпусных материалов и технологических процессов (например, таких как глубокое пластическое деформирование «в холодную», экспандирование труб) приводит к необходимости тщательного изучения их механических свойств при учете влияния указанных технологических процессов и характера эксплуатации. Прочность, надежность и долговечность конструкций корпусов подводных объектов в значительной степени определяется механическими свойствами используемых материалов и особенностями применяемых технологических процессов, которые могут оказывать как непосредственное негативное влияние (появление трещинообразных дефектов, полей остаточных напряжений), так и приводить к изменению механических свойств материала.

Разработка методологии прогнозирования малоциклового и статической прочности металлических материалов в составе корпусов подводных объектов с учетом реальных условий нагружения конструкций и изменения механических свойств материала под воздействием технологических процессов требует проведения экспериментальных исследований влияния коэффициента асимметрии цикла на кинетику роста усталостной трещины на втором (установившемся) и третьем (предкритическом) этапах КДУР, влияния остаточных сварочных напряжений, влияния эффекта Баушингера на устойчивость цилиндрических оболочек и подводных трубопроводов.

### **Основные научные результаты.**

1. Разработана методика прогнозирования малоциклового трещиностойкости материалов корпусов подводных объектов с учетом асимметрии напряженного состояния в цикле, связанной с особенностями эксплуатации объекта и наличием остаточных напряжений.

2. Исследованы закономерности роста трещин усталости на третьем (предкритическом) этапе КДУР (соответствующему условиям ускоренного роста трещины, предшествующему



конечному разрушению). Произведена оценка влияния асимметрии цикла нагружения и наличия сжимающих напряжений на скорость роста трещины.

3. Предложен метод определения критического значения коэффициента интенсивности напряжений и параметров, входящих в соотношение Р. Формена, на основе циклических испытаний образцов при разной асимметрии цикла нагружения.

4. Предложены методы экспериментальной оценки циклической трещиностойкости при наличии остаточных сварочных напряжений и способы оценки влияния остаточных сварочных напряжений на циклическую трещиностойкость элементов конструкции.

5. Получены систематизированные экспериментальные данные о влиянии предварительного пластического деформирования (при холодной обработке металлов) на поведение материала при нагружении обратного знака.

7. Разработана приближенная оценка влияния предварительного технологического пластического деформирования на устойчивость круговых цилиндрических оболочек.

Использование полученных результатов позволит произвести обоснованную корректировку предельно допустимых уровней напряжений, количества циклов нагружения и периодичности осмотров конструкции, усовершенствован процесс аттестации новых материалов.

#### **Достоверность результатов исследования**

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием основных положений механики деформируемого твердого тела и механики разрушения. Кроме того, достоверность подтверждается проведением сопоставлений полученных данных экспериментальных исследований с результатами других авторов.

#### **Практическая значимость работы**

Результаты диссертационной позволяют оценить циклическую трещиностойкость металлов в составе судовых конструкций и учесть в расчетах прочности корпусов подводных объектов изменение их свойств при технологических операциях. Использование полученных результатов позволит произвести обоснованную корректировку предельно допустимых уровней напряжений, количества циклов нагружения и периодичности осмотра конструкции.

#### **Содержание и оформление работы**

Содержание работы соответствует специальности 05.08.01 – Теория корабля и строительная механика. Работа написана хорошим языком и имеет ясную структуру. Выносимые на защиту положения являются обоснованными. Выводы, сделанные в работе, отражают содержание диссертации.

Диссертационная работа **В.И. Нигматуллина** оформлена в соответствии с требованиями ВАК и представляет собой законченное научное исследование.



**Автореферат диссертации** отражает содержание диссертации, формулировка основных результатов и выводов в автореферате и диссертации не идентичны, но близки по содержанию.

По тексту диссертационной работы и автореферата можно сделать следующие **замечания**:

1. В диссертационной работе отсутствует обоснование возможности применения методов линейной механики разрушения для анализа роста трещины малоциклового усталости на третьем участке КДУР для исследуемых образцов, для которых зона пластичности может быть достаточно обширной.
2. Не указан метод решения системы нелинейных алгебраических уравнений (11) для определения коэффициентов  $\lg C_F$ ,  $m_1$  и  $K_{1c}$  уравнения Р. Формена, а также не проанализированы условия существования и единственности решения системы (11).
3. Использование поперечных (а не продольных) деформаций (см. подпись оси абсцисс на рис. 5 на стр. 80) при определении  $\sigma_{02}^c$  требует дополнительного комментария.
4. Утверждение на стр. 73, что "до настоящего времени в литературе отсутствует систематическое экспериментальное исследование эффекта Баушингера на широком круге металлов" является несколько преувеличенным. В отечественной литературе для широкого класса металлов подобные данные приводятся, например, в книгах:
  - Гохфельд Д.А., Гецов Л.Б., Кононов К.М., Кульчихин Е.Т., Ребяков Ю.Н., Садаков О.С., Тимашев С.А., Чепурский В.Н. Механические свойства сталей и сплавов при нестационарном нагружении. Справочник. Екатеринбург. 1996.
  - Бондарь В.С. Неупругость. Варианты теории. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2004.
5. Использование зависимости относительного касательного модуля  $E_K/E$  как функции от уровней напряжений и деформаций, измеренных относительно значений, достигнутых после предварительной нагрузки и разгрузки до 0 (от точки А на рис. 8а на стр. 84), является малоинформативным и приводит к большому разбросу экспериментальных данных. В соответствии с общими принципами построения моделей упруго-пластического материала с учетом кинематического (или комбинированного изотропно-кинематического) упрочнения рационально рассматривать зависимости относительного касательного модуля  $E_K/E$  как функции от напряжений и деформаций, измеренных относительно начала разгрузки. В соответствии с обобщенным принципом Мазинга при таком подходе следует ожидать малого разброса экспериментальных данных для различных уровней предварительной пластической деформации.
6. В диссертации дана приближенная оценка влияния предварительного пластического деформирования материала на устойчивость оболочки. Автор использует известную концепцию, заменяя исходный модуль упругости приведенным модулем. Для построения этого решения автор располагает экспериментальными диаграммами материала, которые позволяют определить приведенный модуль как функцию напряжений. Однако автор использует «стандартную» зависимость, которая ранее использовалась при проведении



практических расчетов, и, по его мнению, приводит к незначительной погрешности. Представляется более целесообразным проведение всех расчетов на основании полученных автором диаграмм, что позволило бы, в частности, оценить погрешность, к которой приводит использование упомянутой «стандартной» зависимости.

7. Диссертация содержит ряд погрешностей технического характера. В частности, в формуле (10) на стр. 33 у  $\Delta K$  отсутствует индекс I; в работе присутствуют два различных рисунка с номером 2 - на стр. 76 и 77.

Перечисленные замечания не снижают научной и практической ценности полученных результатов и диссертационной работы в целом.

Представленную работу оцениваю как завершенную научно-квалификационную работу, вносящую большой вклад в разработку методологии прогнозирования прочности металлических материалов в составе корпусов подводных объектов.

Основные результаты, полученные в работе, представлены в 10 научных публикациях, из которых 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК. Результаты апробированы на научных конференциях.

В.И. Нигматуллин продемонстрировал высокую научную квалификацию, владение экспериментальными методиками исследования прочности и трещиностойкости материалов и теоретическими методами обработки результатов испытаний. Приведенные результаты можно классифицировать как новые и имеющие большое практическое применение.

Считаю, что рецензируемая диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842. Ее автор Нигматуллин Владимир Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.01 – Теория корабля и строительная механика.

**Официальный оппонент -**

доц. каф. «Механика и процессы управления»,

кандидат физико-математических наук,

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный

политехнический университет»,

Санкт-Петербург, Политехническая 29.

Тел.: +7 (812) 552-63-03

e-mail: semenov.artem@googlemail.com



А.С. Семёнов

