

## О Т З Ы В

официального оппонента о диссертации **ФОМИНА ЛЕОНИДА ВИКТОРОВИЧА**  
 “Ползучесть и длительная прочность стержней и пластин при растяжении и изгибе с  
 учетом влияния агрессивной среды”, представленной на соискание ученой степени  
 кандидата физико-математических наук по специальности  
 01.02.04 - механика деформируемого твердого тела.

Диссертация Фомина Л.В. посвящена построению методик оценки характеристик ползучести и длительной прочности стержней и пластин при растяжении и чистом изгибе с учетом влияния агрессивной среды и в условиях ползучести материала рассматриваемых элементов конструкций.

Работа состоит из Введения, четырех глав, Заключения и списка цитируемой литературы (63 названия). Объем – 198 страниц.

### **Актуальность представленной диссертации.**

Элементы современных конструкций работают в условиях плохой экологии и (по технологическим условиям) зачастую подвержены воздействию агрессивной среды и высоких температур, что заставляет исследователя учитывать перечисленные неблагоприятные факторы.

Влияния упомянутых обстоятельств недостаточно изучены в научной литературе, поэтому актуальность представленного исследования – несомненна.

### **Анализ содержания работы.**

Во Введении проведен анализ актуальности диссертации, поставлена цель исследования, дан аналитический обзор литературных источников, посвященных изучению поведения элементов конструкций, работающих в агрессивной среде, чему посвящено не так уж и много работ. Автор частично заполняет эту нишу своими разработками.

**В первой главе** “Моделирование процессов ползучести с учетом поврежденности материала и влияния агрессивной среды” развивается приближенный метод решения уравнения диффузии, основанный на понятии диффузионного фронта. Этот метод есть альтернатива точному решению в виде плохо сходящихся рядов.

Основная идея метода отрабатывается на примере растяжения стержня в условиях ползучести: весь материал поперечного сечения разделен на возмущенную (агрессивная среда уже проникла в материал стержня) и невозмущенную (материал еще не затронут воздействием среды) области. В этой связи изучаются две стадии процесса диффузии: проникновение агрессивного фронта и стадия насыщения - концентрация агрессивной среды во всем объеме материала отлична от нуля.

Показано, что использование приближенного решения в виде полиномов с переменными (во времени) коэффициентами приводит к приемлемому результату: отличие от точного решения всего около 2%. После такого сравнительного анализа автор использует приближенное рассмотрение в своих дальнейших исследованиях.

Для определения времен до разрушения используются понятия поврежденности (Ю.Н.Работнов, Л.М.Качанов) и основы кинетической теории ползучести Ю.Н. Работнова (введение дополнительных кинетических параметров) с использованием дробно-линейной зависимости скорости накопления поврежденности от напряжения; учет влияния агрессивной среды определяется функцией от интегрально средней концентрации агрессивной среды.

Далее решается связанная задача о диффузии агрессивной среды и накопления поврежденности в процессе диффузии. Задача решена в двух постановках: коэффициент диффузии зависит от поперечной координаты и времени и, частный случай, -



зависимость только от времени. Дано сравнение решения полной системы уравнений с упрощенным аналогом и показано отличие полученных времен до разрушения:  $t^* = 7.00$  (полная система),  $t^* = 7.16$  – упрощенная система.

Таким образом, упрощенная постановка может быть рекомендована для инженерных расчетов.

**Вторая глава** “Чистый изгиб балок при ползучести с учетом разносопротивляемости материала, накопления поврежденности и влияния агрессивной среды”.

Здесь впервые подробно изучается чистый изгиб балок в условиях ползучести с использованием дробностепенных определяющих и кинетических соотношений. Это позволяет ввести в соответствующие уравнения не равные друг другу величины пределов кратковременной ползучести материала при сжатии и растяжении.

В геометрически линейной постановке изучаются балки кругового и квадратного сечений равной площади (гипотеза плоских сечений, малые перемещения и деформации). Решение уравнений равновесия осуществляется шаговым методом (метод последовательных нагружений, продолжение по параметру) до тех пор, пока на поверхностном растянутом слое поврежденность не достигнет своего предельного значения  $\Omega(y = 1, t^*) = 1$ . Далее ставится задача о движении фронта вглубь поперечных сечений. Вычисляется время, когда в растянутых и сжатых волокнах достигаются пределы кратковременной прочности на растяжении и сжатие.

Это есть признак разрушения конструкции.

Вычисления показали, что присутствие агрессивной среды (при используемых в работе значениях констант материала) снижает срок работоспособности конструкции почти на 20%.

**Третья глава** “Длительное разрушение пластин при изгибе в условиях сложного напряженного состояния с учетом влияния агрессивной среды” посвящена исследованию длительного разрушения квадратной пластины под воздействием кусочно-постоянных изгибающих моментов, равномерно распределенных по краям пластины.

Учет влияния среды достигается введением в степенное определяющее соотношение для скорости деформации ползучести интегрально средней концентрации среды в материале пластины.

Рассматривается “одноосный” случай чистого изгиба пластины: в плоскости ZOХ действуют равные противоположно направленные изгибающие моменты (приложенные к противоположным кромкам), интенсивность которых меняется скачком. Здесь, естественно, выводы аналогичны выводам главы 2, где изучается чистый изгиб балок (стержней). Более интересен “двухосный” случай: к противоположным сторонам пластины прикладываются сначала моменты  $M_1$ , изгибающие в плоскости ZOХ, которые действуют в течение половины времени, соответствующего разрушению балки в аналогичных условиях; затем к уже изогнутой пластине прикладываются моменты  $M_2$  в плоскости ZOУ (к соответствующим кромкам пластины).

Используется кинетическая теория ползучести и длительной прочности Ю.Н.Работнова, причем проводятся два рассмотрения: параметр поврежденности как скалярная величина и в виде вектора - в ортогональных направлениях свои значения. Вычисляются времена до разрушения в смысле, определенном выше.

В заключение главы приведены результаты исследования НДС (напряженно-деформированного состояния) при использовании дробно-линейного варианта уравнений ползучести для различных программ нагружения пластины моментами в ортогональных плоскостях. Получены зависимости параметров поврежденности и определены времена работоспособности конструкции.

Заключительная **четвертая глава** “Новый метод определения поврежденности при ползучести”.



В отличие от классического подхода (поврежденность в образце возникает с началом опыта) поврежденность, имеющая смысл наличия в образце микропор и микротрещин, появляется только на третьей стадии ползучести.

Предлагается при определенных уровнях нагружения сосредоточить внимание только на третьей стадии ползучести. В этой связи развивается методика определения констант ползучести по результатам экспериментов.

Автор приводит обширный экспериментальный материал (эксперименты выполнены с участием диссертанта в лаборатории ползучести НИИ механики МГУ, зав. лабораторией профессор А.М.Локощенко) и демонстрирует на многочисленных примерах результаты обработки материала с целью получения необходимых констант ползучести и соотношений поврежденности.

### Замечания по работе.

#### 1. Глава 1.

1) Уравнение (1.1) удовлетворяется интегрально: записывается интеграл по поперечному сечению от модуля разности левой и правой частей уравнения диффузии; интеграл приравнивается к нулю. Из этого условия определяются аппроксимационные коэффициенты искомого выражения для концентрации агрессивного вещества, проникшего в стержень.

Почему именно модуль, ведь известно, как неудобно работать с модулем: необходимо выяснять знак подмодульного выражения.

2) На стр. 37 вводится понятие "интегрально среднее значение безразмерной концентрации".

Какова процедура осреднения - не сказано!

#### 2. Глава 2.

1) Неаккуратное выражение на стр. 92

"...толщина балки по оси  $y$  равна  $H$ , ширина  $b$ , длина  $L$  удовлетворяет неравенствам  $L \gg H$ ,  $L \gg b$ . В этом случае гипотеза плоских сечений имеет вид

$$dp/dt = dk/dt (y - y_0) \quad (2.2)"$$

2) Стр. 93: "Согласно гипотезе плоских сечений (2.1)..."

Формула (2.1) в тексте дает зависимость скорости деформации ползучести от текущего напряжения и пределов сопротивления на растяжение и сжатие.

3) Стр. 95: Назойливо повторяются слова: "Задача решается с учетом гипотезы плоских сечений."

А есть ли решения без учета этой гипотезы?

4) Стр. 104: "Связь между скоростью деформации  $dp(y,t)/dt$  и напряжением  $\sigma(y,t)$  подчиняется уравнениям (3.2) а сплошность  $\psi = \psi(y,t)$  – уравнениям (3.3)."

Эта нумерация соответствует главе 3, а формулы (2.2) и (2.3) – совершенно другого содержания: непонятно, что чему "подчиняется"!

5) Стр. 122: Дается таблица сравнения приближенного и точного решений уравнения диффузии.

Если известно точное решение, зачем строить приближенное?

#### Глава 3.

1) Стр. 132, рис.3.2: показана схема нагружения пластины моментами  $M_1$  и  $M_2$ . На оси  $t$  ошибочно указано время  $t_1$  вместо  $0.5 t_1$  (согласно тексту).

2) Стр. 144: "Пренебрегаем изменением длины средней линии", формула (3.27).

О какой "средней линии" идет речь, если рассматривается пластина?

3) Стр. 169: "Обсуждение результатов и выводы по главе 3."



Вызывает вопросы 2-ой пункт: "...напряжения не зависят от времени... и не зависят от концентрации элементов агрессивной среды в материале пластины".

Как-то такой вывод не укладывается в сознании: идет процесс ползучести и все искомые величины должны бы зависеть от времени!

Главное замечание по этой главе: рассматривается изгиб квадратной пластины моментами, действующими в ортогональных плоскостях, и при этом используются в каждом направлении "балочные" формулы, т.е. не учитываются деформации кручения срединной поверхности, неизбежно возникающие при описанной статической схеме.

Обоснована ли такая постановка?

Глава 4.

1) Стр. 181, п. "Методика определения констант входящих в предложенные уравнения":

"Таким образом, для каждой кривой ползучести, соответствующей определенному значению напряжения  $\sigma$ , получаем систему шести нелинейных уравнений с шестью неизвестными  $A, B, t^*, C, k, b$ : .....(4.6)".

Но выписана система четырех уравнений с шестью неизвестными.

Совместна ли эта система?

На мой взгляд, идея учитывать только III стадию ползучести (ускоряющаяся ползучесть) переключается с идеями, положенными в теорию т.н. "кратковременной ползучести" (одноименная книга Ю.Н.Работнова и С.Т.Милейко, 1970), но ссылок на этот источник в списке литературы нет.

Высказанные замечания, однако, не влияют на общую положительную оценку рецензируемой диссертации. Прделана большая и важная исследовательская работа.

#### **Научная новизна.**

Новыми результатами считаю:

- 1) Детальное исследование и построение моделей процессов воздействия агрессивной среды на работающие в условиях ползучести элементы конструкций: стержни, балки, пластины.
- 2) Развитие и приложения идей Ю.Н.Работнова о построении кинетических зависимостей к исследованию процессов накопления повреждаемости и разрушения конструкций.
- 3) Подробно описанную в главе 4 процедуру определения констант ползучести в третьей заключительной стадии.

**Достоверность** разработанных в диссертации методов оценки длительной прочности и эффектов воздействия агрессивной среды на конструкции обоснована корректными математическим выкладками и привлечением обширного экспериментального материала, полученного при непосредственном участии диссертанта.

#### **Практическая ценность обсуждаемой работы.**

Методики, разработанные автором и представленные в диссертации найдут (и уже находят), приложения в практике проектирования изделий из композиционных и металлических материалов.

Основные результаты диссертации неоднократно докладывались на научных семинарах и конференциях различного уровня, отражены в 21-ой публикации (список работ автора), в том числе – 8 публикаций в рецензируемых журналах из перечня ВАК.

**Автореферат** полностью отражает содержание диссертации и результаты исследований автора.

В целом, диссертация Фомина Л.В. есть завершенная научная работа, содержащая оригинальные результаты, связанные с актуальной научной проблемой. Работа представляет интерес как в теоретическом, так и в практическом отношении.



Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.02.04.

Автор проявил себя квалифицированным научным работником, способным решать сложные задачи с использованием современных математических и вычислительных методов.

**Заключение:** диссертационная работа выполнена на высоком уровне, по объему, содержанию и научно-практическому значению удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Фомин Л.В. заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент:

профессор кафедры Прикладная математика  
Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
“Московский государственный технический университет  
имени Н.Э.Баумана”,  
доктор технических наук Ванько Вячеслав Иванович

13.11.15 *Ванько*

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5.

Тел. 8-495-689-17-37; email: vvanko@mail.ru



**ВЕРНО:**

зам. начальника Управления кадров

МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА

*А.Г. Матвеев*  
А.Г. МАТВЕЕВ