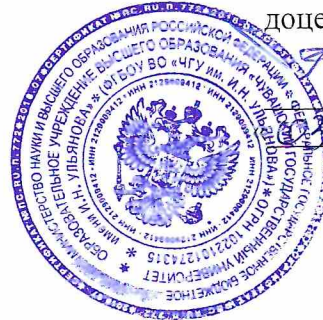


УТВЕРЖДАЮ  
Ректор ФГБОУ ВО «Чувашский  
государственный университет  
имени И.Н. Ульянова  
кандидат экономических наук,  
доцент



А.Ю. Александров

июня 2024 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации –

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова» на диссертационную работу Двужилова Антона Сергеевича «ЗАКОНОМЕРНОСТИ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЛАТУНИ Л63 ПРИ СЛОЖНОМ НАГРУЖЕНИИ ПО ЛОМАНЫМ И ГЛАДКИМ ТРАЕКТОРИЯМ ПОСТОЯННОЙ КРИВИЗНЫ», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 1.1.8. «Механика деформируемого твердого тела».

Диссертация Двужилова А.С. посвящена построению определяющих соотношений неупругого деформирования металлов и сплавов при сложных процессах нагружения.

Целью проводимых автором исследований является получение новых фундаментальных результатов в развитии общей математической теории пластичности А.А. Ильюшина, выявление закономерностей скалярных и векторных свойств при деформировании по криволинейным траекториям переменной кривизны и двухзвенным ломаным. В этом состоит **теоретическая значимость** представленной работы.

В качестве объекта исследований рассматривается латунь марки Л63, двухфазный материал, относимый к труднодеформируемым сплавам, которая используется для изготовления деталей в электронной технике, радиоаппаратуре, элементов теплообменных аппаратов и др.

Соискатель представил результаты уникальных экспериментов по сложным траекториям неупругого деформирования, проведенных на автоматизированном комплексе СН-ЭВМ на базе лаборатории механических испытаний кафедры «Сопротивления материалов, теории упругости и пластичности» Тверского государственного технического университета. Актуальность работы состоит в разработке и использовании современных методов лабораторного моделирования, позволяющих устанавливать закономерности неупругого поведения при сложном напряженно-деформированном состоянии, в том числе с целью развития технологий изготовления и создания структуры материала с заданными пластическими свойствами, а также его более полного использования при деформировании в неупругой области.

Диссертационная работа объемом в 189 страниц включает введение, четыре главы, заключение, 82 рисунка, 1 таблицу и 3 приложения, а также список литературы, состоящий из 182 наименований.

Во введении излагается цель исследования, отмечается научная новизна, теоретическая и практическая ценность работы.

Первые **три главы** диссертации посвящены описанию теоретических подходов к построению определяющих соотношений неупругого деформирования при сложном нагружении. Автором показывается, что общая математическая теория пластичности А.А. Ильюшина является современным инструментом, позволяющим описывать развитие процесса неупругого деформирования при различных видах напряженно-деформированного состояния. Обсуждаются основы теории: постулат макроскопической определенности, векторное представление процессов нагружения и деформирования, постулат изотропии, принцип запаздывания векторных и скалярных свойств, гипотеза о разгрузке и деформационной анизотропии; классификация траекторий деформирования большой, средней и малой кривизны. Отдельно рассматриваются двухзвенные ломаные. Рассматриваются понятие простого нагружения и положения теории малых упруго-пластических деформаций. Дается краткий обзор работ по исследованию векторных и скалярных свойств. Рассматриваются известные подходы к построению материальных функций. Детально обсуждается развитие теории пластичности А.А. Ильюшина в Тверском государственном техническом университете под руководством В.Г. Зубчанинова, предложенные В.Г. Зубчаниновым постулат локальной размерности образа процесса и теория пластичности для траекторий малого кручения. В третьей главе представлено подробное описание автоматизированного испытательного комплекса СН- ЭВМ Тверского государственного технического университета, на котором соискателем было произведено изучение развития упругопластического деформирования в опытах при сложном переменном нагружении, средств измерений, образцов. В третьей главе также рассмотрена начальная микроструктура исследуемого материала. К сожалению, соискателю, по-видимому, не представилась возможность исследовать эволюцию микроструктуры и развитие процесса деформирования в зависимости от вида напряженно-деформированного состояния.

Основной главой, разработанной соискателем, является четвертая глава. В ней представлены результаты комплексного экспериментального исследования упругопластического поведения латуни марки Л63 при жестком переменном осевом нагружении с кручением по следующим программам на плоскости ( $\Theta_1$ ,  $\Theta_3$ ) в пространстве деформаций А.А. Ильюшина:

(1) траектории в виде двухзвенных ломаных с точками излома при 2% и 3% осевой деформации и углами излома  $45^\circ$ ;  $90^\circ$ ;  $135^\circ$  и  $90^\circ$ ;  $135^\circ$ ,  $180^\circ$  соответственно;

(2) траектория в виде пяти окружностей различного радиуса и различной кривизны, начинающихся в начале координат,

(3) траектория по трем окружностям различных радиусов и кривизны из начала координат со смещением их центров таким образом, чтобы оси координат были касательными к траекториям деформирования каждой окружности;

(4) траектория в виде четырех полуокружностей одинакового радиуса - при достижении первой полуокружностью (из начала координат) осевой деформации  $\Theta_1=0.5\%$  кривизна меняется по знаку и начинается построение второй полуокружности и так далее, при завершении четвертой полуокружности кривизна не меняется, имеет место смена кривизны при полной четвертой окружности, дальше сжатие со знакопеременным кручением в начало координат,



(5) траектория в виде: растяжение до  $\varepsilon_1=1\%$ , затем излом на  $90^\circ$ , далее по окружности радиуса  $1\%$  с переходом на скручивающуюся спираль (4 витка) с шагом спирали  $0.25\%$  в начало координат;

(6) кручение до  $\varepsilon_3=1\%$ , далее по окружности радиуса  $0.5\%$ , затем излом на  $45^\circ$  и построение окружности того же радиуса, и далее пять окружностей, построенных по тому же алгоритму;

(7) движение по половине окружности радиуса  $0.5\%$ , дальше та же кривизна, но со сменой знака, далее знак кривизны не меняется, но окружность вдвое меньшего радиуса, четвертый и последний полуокружности сохраняют радиусы кривизны, но меняют знак, по завершению программы траектория приходит в начало координат.

Дана аппроксимация диаграммы одноосного растяжения для латуни марки Л63. Построены диаграммы деформирования в координатах модуль вектора напряжений в зависимости от длины дуги траектории деформирования, характеризующие скалярные свойства материала, и зависимости угла сближения (угла между вектором напряжений и касательной к траектории деформирования в соответствующей точке на плоскости ( $\varepsilon_1, \varepsilon_3$ )) от приращения длины дуги траектории, определяющие векторные свойства.

В первой серии экспериментов получено удовлетворительное соответствие соотношению В.Г. Зубчанинова для модуля вектора напряжения в зависимости от длины дуги траектории деформаций.

Автором обнаружены некоторые закономерности развития процесса деформирования. В первой серии экспериментов угол сближения при изломе траектории деформирования скачкообразно изменяется, примерно на величину угла излома, далее уменьшается и стабилизируется, в среднем, на  $6^\circ-7^\circ$ . По результатам серий опытов (2)-(7) в т.ч. получено: а) при изломах прямолинейной траектории на угол  $90^\circ$  и последующем переходе к деформированию с постоянной кривизной угол сближения скачкообразно увеличивается на величину угла излома траектории с дальнейшей стабилизацией на уровне  $30^\circ-40^\circ$ , при этом он зависит от кривизны траектории деформирования; б) при угле изломе, образующегося при переходе с одной криволинейной траектории на другую, угол сближения также скачкообразно увеличивается величину этого угла; в) на криволинейных траекториях постоянной кривизны со сменой ее знака отмечается волнообразный характер векторных свойств, угол сближения вначале падает практически до нуля, в дальнейшем начинает расти.

Автор провел самостоятельную научно-исследовательскую работу, в которой был получен банк **новых экспериментальных кривых** упругопластического деформирования при различных процессах переменного жесткого осевого нагружения с кручением трубчатых образцов из латуни Л63. Построены зависимости модуля вектора напряжений от длины дуги деформации и получено удовлетворительное соответствие соотношения В.Г. Зубчанинова для скалярных свойств полученным опытными данным. Исследованы зависимости угла сближения от приращения длины дуги траектории деформации. В экспериментах по траекториям в виде двухзвенных ломаных получено, что угол сближения при изломе траектории деформирования скачкообразно изменяется примерно на величину угла излома, далее уменьшается и стабилизируется, в среднем, на  $6^\circ-7^\circ$ . В опытах при изломах прямолинейной траектории на угол  $90^\circ$  и последующем переходе к деформированию с постоянной кривизной угол сближения скачкообразно увеличивался на величину угла излома траектории с дальнейшей стабилизацией на уровне  $30^\circ-40^\circ$ . В опытах с углом излома при переходе с одной криволинейной траектории на другую угол сближения скачкообразно увеличивался на величину этого угла. На криволинейных траекториях постоянной кривизны со сменой ее знака обнаруживался волнообразный характер векторных свойств.



**Практическая значимость работы** состоит, в том числе, в использовании полученных закономерностей упругопластического деформирования латуни Л63 в расчетах сложного напряженно-деформированного состояния, возникающего при эксплуатации элементов конструкций. Результаты исследований могут войти в специальные курсы подготовки специалистов по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

**Достоверность научных положений и выводов** работы обеспечивается применением современных методов экспериментальных исследований и средств измерений, использованием экспериментального комплекса СН-ЭВМ, сопоставлением расчетных и представительного объема экспериментальных данных. В диссертации применяются методы механики деформируемого твердого тела, теории упругопластических процессов.

Диссертацию следует рассматривать как законченную теоретическую и практическую разработку, результаты которой составляют научную новизну и получены автором лично. Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы.

При общей положительной оценке диссертационной работы имеются следующие замечания:

1. Автором проведено большое количество трудоемких экспериментов, при этом, к сожалению, во многих случаях нет объяснения полученным результатам. Например, как объяснить, что в результате исследований по программе (5), описанной выше, получено, что при длине дуги траектории деформаций примерно около 35% модуль вектора напряжений равен всего 10 МПа.

2. На стр.39 утверждение «В.Г. Зубчанинов ввел полярные сферические координаты» не содержит соответствующей ссылки. При этом, в работе В.Г. Зубчанинова 1989 года ([54] в списке литературы) содержится ссылка на работу А.В. Муравлёва (Некоторые общие свойства связи напряжений с деформациями в теории пластичности // Изв. АН СССР. МТТ, 1984. №6. С.178-179), в которой и были впервые применены пятимерные сферические координаты вектора напряжений в сопровождающем ортонормированном репере Френе пятимерной траектории деформаций для получения пяти скалярных соотношений, эквивалентных векторной форме связи напряжений с деформациями (на основе гипотезы компланарности) в теории упругопластических процессов А.А. Ильюшина. Эта работа А.В. Муравлёва отсутствует в списке литературы.

3. В работе содержится ряд стилистических и грамматических ошибок и неточностей, непонятна расстановка кавычек. На стр.79 написано предложение: «Аппроксимируя базовые диаграммы деформирования, ... видим линейный закон Гука». На стр. 124 «... имеет место быть частичная упругая разгрузка, ... имеет место быть «нырок»...». Изложение результатов не очень последовательное, например, при обсуждении простого нагружения вклиниваются предложения о сложном нагружении. Упоминаются базовые траектории, при этом из текста работы не ясно, о каких траекториях идет речь. Не очень понятно, как можно предложить «приближения реальных программ прослеживания процессов». Также в тексте написано, что «в экспериментах по криволинейным траекториям постоянной и переменной кривизны обнаружены закономерности в зависимостях между механическими и векторными свойствами», что не понятно. На стр.22 есть такой текст: «Гипотеза компланарности... описал В.С. Ленский, также он проверил гипотезу компланарности для траекторий деформирования в виде трехзвенных пространственных ломанных [147, 152]. В свою очередь и Е. Танака [164], и Р.А. Васин [7] проверили гипотезу для винтовых траекторий. А предположение, что гипотеза компланарности А.А. Ильюшина в некоторых случаях не выполняется для локально-простых процессов распознал В.Г. Зубчанинов». На стр.24 написано предложение: «В

данной диссертационной работе была использована теория процессов, которая является главной теорией пластичности, отражающая действительные пластические процессы», из которого не понятно, как теория отражает процессы и какие существуют еще другие, отличные от действительных, пластические процессы.

Вышеизложенные замечания не отражаются на положительном заключении по рассматриваемой квалификационной работе.

Таким образом, диссертационная работа Двужилова Антона Сергеевича на тему «Закономерности упругопластического деформирования латуни Л63 при сложном нагружении по ломанным и гладким траекториям постоянной кривизны» является законченной квалификационной научно-исследовательской работой, которая содержит результаты, имеющие важное фундаментальное значение для развития подходов к построению определяющих соотношений упругопластического деформирования и математической теории пластичности А.А. Ильюшина при сложных процессах нагружения. По результатам исследований опубликовано восемь научных работ, в том числе две работы в изданиях, входящих в перечень рецензируемых изданий ВАК РФ.

Диссертация Двужилова А.С. соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней от 24 сентября 2013 г. N 842, которые предъявляются к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела. Соискатель Двужиллов Антон Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв составлен доктором физико-математических наук, профессором кафедры строительных конструкций Максимовой Людмилой Анатольевной, обсужден и одобрен на заседании кафедры строительных конструкций ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н.Ульянова» «10» мая 2024 г., протокол № 12.

Заведующий кафедрой  
строительных конструкций,  
кандидат технических наук, доцент  
email: [plotnikovan2010@yandex.ru](mailto:plotnikovan2010@yandex.ru)



Алексей Николаевич Плотников

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»  
Адрес: 428015, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский пр-т, д.15  
Тел. организации : +7(8352) 58-30-36  
Адрес электронной почты: [office@chuvsu.ru](mailto:office@chuvsu.ru)  
Web-сайт: [www.chuvsu.ru](http://www.chuvsu.ru)

