

## Форма 501(итог). КРАТКИЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ

1.1. Номер Проекта 14-08-00528

1.2. Руководитель Проекта Локощенко Александр Михайлович

1.3. Название Проекта Разработка системы определяющих и кинетических соотношений для моделирования влияния агрессивной среды на ползучесть и длительную прочность материалов и элементов конструкций

1.4. Код и название Конкурса А - Конкурс инициативных научно-исследовательских проектов 2014 года

1.5. Год представления Отчета 2016

1.6. Вид Отчета (итоговый) 1

### 1.7. Аннотация, публикуемая на сайте Фонда

Получены новые результаты по исследованию ползучести и длительной прочности растягиваемых стержней в агрессивной окружающей среде. Исследовано длительное разрушение прямоугольной пластины при изгибе в условиях нестационарного плоского напряженного состояния с учетом влияния агрессивной среды. Проведено сравнение времен до разрушения в случаях скалярного и векторного параметров поврежденности. Решена связанная задача, в которой учитывается взаимная зависимость концентрации окружающей среды в стержне с и уровня поврежденности материала стержня. Исследовано влияние зависимости коэффициента диффузии  $D$  от уровня  $s$  на время до разрушения стержня. Подробно анализируется запирающий эффект диффузионного процесса.

Исследовано влияние формы поперечного сечения стержней, растягиваемых в процессе ползучести в агрессивной среде, на время до их разрушения при одинаковых величинах растягиваемого напряжения. Рассмотрены круглое, квадратное и прямоугольное поперечные сечения, а также сечение в виде длинной тонкой полосы. Показано, что при одинаковых величинах минимального размера поперечного сечения стержня наименьшее время до разрушения соответствует случаю стержня круглого сечения.

Проведено экспериментальное исследование процесса локализации деформации в плоских образцах, растягиваемых в процессе высокотемпературной ползучести. Определен относительный интервал времени деформирования, при котором стержень деформируется равномерно. Проведено сравнение полученных результатов при испытаниях плоских и цилиндрических образцов.

Проведено моделирование деформирования длинной узкой прямоугольной мембраны внутри жесткой матрицы при различных подходах. Рассматриваются задачи с клиновидными и криволинейными матрицами при различных контактных условиях. Показано, что в зависимости от условий задач возможны как заполнение пространства внутри матрицы за конечное или бесконечное время, так и разрушение мембраны в процессе ползучести.

1.8. Полное название организации, предоставляющей условия для выполнения работ по Проекту физическим лицам

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

## Форма 503(итог).РАЗВЕРНУТЫЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ

3.1. Номер Проекта 14-08-00528

3.2. Название Проекта

Разработка системы определяющих и кинетических соотношений для моделирования влияния агрессивной среды на ползучесть и длительную прочность материалов и элементов конструкций

3.3. Коды классификатора, соответствующие содержанию фактически проделанной работы  
08-101, 01-414

### 3.4. Объявленные ранее цели Проекта

Продолжение исследований ползучести и длительной прочности материалов и элементов конструкций в присутствии агрессивной среды. Развитие кинетической теории при решении поставленных задач. Обобщение полученных ранее результатов исследования влияния агрессивной среды на ползучесть и длительную прочность при дополнительном учете явления коррозии металлов. Экспериментальное исследование особенностей локализации напряженно-деформированного состояния стержней, растягиваемых в условиях высокотемпературной ползучести.

### 3.5. Полученные в ходе выполнения Проекта важнейшие результаты

#### **Влияние агрессивной среды на ползучесть и длительную прочность стержней и пластин.**

Анализируются экспериментально-теоретические результаты в области ползучести и длительной прочности металлов. Моделирование результатов этих испытаний, как правило, является развитием и конкретизацией предложенной Юрием Николаевичем Работновым кинетической теории ползучести и длительной прочности. Рассмотрены некоторые проблемы, связанные с разработкой различных видов кинетических уравнений и описанием экспериментальных данных для материалов, которые могут рассматриваться как статистически однородные (т.е. процесс деформирования и разрушения может быть изучен без привлечения исследования развития отдельных трещин). Рассматривается приближенный метод решения уравнения диффузии, основанный на введении диффузионного фронта. Такой подход позволяет разделить весь материал стержня на возмущенную (где среда уже проникла в материал) и невозмущенную области (где еще нет проникновения среды) и затем определять движение границы между этими областями во времени. При этом граничные и начальные условия выполняются точно, а уравнение диффузии удовлетворяется интегрально во всем объеме стержня.

Исследовано рассеянное разрушение прямоугольной пластины при изгибе в условиях нестационарного плоского напряженного состояния с учетом влияния агрессивной среды. Предложен метод определения времени до разрушения такой пластины при последовательном изгибе пластины в разных плоскостях. С помощью кинетической теории Ю.Н. Работнова проведено сравнение времен до разрушения в случае скалярного и векторного параметров поврежденности при использовании степенной модели ползучести. Исследованы отклонения суммы парциальных времен от единицы в случае кусочно-постоянных зависимостей уровня изгибающего момента от времени. Показана аналогия с результатами испытаний на длительную прочность стержней при кусочно-постоянном растягивающем напряжении.

Впервые решена связанная задача о длительной прочности растягиваемого стержня в присутствии агрессивной окружающей среды. Рассмотрена система двух дифференциальных уравнений: одно из них – уравнение диффузии, в котором коэффициент диффузии  $D$  зависит от накопленной в материале поврежденности  $w$ , другое уравнение – кинетическое уравнение, в котором скорость накопления поврежденности зависит от уровня концентрации в стержне окружающей среды. В результате решения этой системы уравнений получена зависимость времени до разрушения стержня от вида зависимости  $D(w)$ . Рассмотрены две постановки задачи. В одной из них рассматриваются зависимость  $w$  от времени и от поперечной координаты стержня и последующее распространение фронта разрушения. Во второй постановке предполагается, что распределенная по поперечному сечению поврежденность зависит только от времени. Показано, что время до разрушения стержня, вытекающее из первой постановки, меньше, чем время, соответствующее второй постановке.

Рассматривается задача о чистом изгибе стержня при ползучести с учетом различия свойств материала при растяжении и сжатии, накопления поврежденности и влияния агрессивной среды. Определяющие и кинетические уравнения приняты в виде сингулярных дробно-степенных зависимостей скорости деформации ползучести и скорости накопления поврежденности от напряжения. Получены зависимость сечения стержня с нулевым напряжением от времени и время до разрушения стержня как при отсутствии, так и при наличии агрессивной окружающей среды.

Исследуется длительная прочность растягиваемых стержней, находящихся в присутствии агрессивной окружающей среды. Проведен анализ зависимости времени до разрушения стержней от формы их поперечного сечений. Рассматриваются стержни квадратного, прямоугольного и круглого сечений, а также сечения в виде длинной полосы, при этом минимальные поперечные сечения этих сечений равны между собой. Влияние агрессивной среды на длительную прочность стержней определяется диффузионным проникновением ее элементов в материал стержня, приводящим к уменьшению длительности его работоспособности. Для анализа процесса диффузии агрессивной окружающей среды внутрь стержня используется приближенный метод решения уравнения диффузии, основанный на введении диффузионного фронта. В результате анализа решения, полученного с использованием кинетической теории Ю.Н. Работнова, показано, что среди рассматриваемых форм поперечных сечений стержней при одном и том же значении растягивающего напряжения минимальное время до разрушения соответствует стержню круглого поперечного сечения.

В связи с накоплением элементов агрессивной среды в материале стержня диффузионное проникновение ее элементов постепенно замедляется.

Приводится сравнение решений уравнения диффузии для рассмотренных зависимостей  $D(c)$ . Такой диффузионный процесс моделируется с помощью уравнения диффузии, в котором коэффициент диффузии  $D$  является монотонно убывающей функцией от концентрации  $c$ . На границе материала стержня и внешней среды принимается условие массообмена.

На основе кинетической теории ползучести и длительной прочности Ю.Н. Работнова исследуется влияние зависимостей  $D(c)$  на длительную прочность растягиваемого стержня.

Исследуется влияние запирающего эффекта диффузионного процесса на длительную прочность металлов в агрессивных средах. Для моделирования этого эффекта используется приближенное решение уравнения диффузии с переменным коэффициентом диффузии. Показано, что при определении длительной прочности металлов в агрессивных средах необходимо учитывать возможный запирающий эффект.

Исследовано напряженно-деформированное состояние трехслойного составного растягиваемого стержня при ползучести в условиях воздействия на него агрессивной окружающей среды. Ползучесть каждой части стержня описана степенной моделью с разными параметрами. Влияние агрессивной среды определяется диффузионным проникновением ее элементов в материал стержня. Использован приближенный метод решения уравнения диффузии, основанный на введении диффузионного фронта. Проанализировано распределение напряжений во времени при условии проникновения агрессивной среды в разные части стержня с разными коэффициентами диффузии. Получены условия, при которых напряжения в частях стержня либо сближаются во времени, либо расходятся. Определены характерные параметры диффузионного процесса и ползучести, построены зависимости напряжений в разных частях во времени с учетом найденных условий.

Предложена модель ползучести при одноосном растяжении цилиндрических образцов, изготовленных из титановых сплавов и насыщенных до различных уровней концентрации водорода. Процесс ползучести при постоянстве во времени растягивающей силы рассматривается в виде двух последовательных стадий: равномерного удлинения и стадии образования шейки (характеризуется резким увеличением скорости деформации). В предположении степенной зависимости скорости деформации от растягивающего напряжения получены механические соотношения для пористости и предельного растягивающего напряжения.

Предложены уравнения физико-химического воздействия продуктов химической реакции диффундирующего водорода и карбидов железа на термомеханические характеристики ползучести стальной цилиндрической трубы.

### **Локализация деформаций ползучести в растягиваемых стержнях**

Рассмотрена проблема локализации деформаций ползучести в цилиндрических и тонких плоских растягиваемых образцах. При высокотемпературных экспериментах по растяжению образцов единственной характеристикой, которую можно измерить в реальных опытах, является зависимость удлинения образца от времени  $t$ . После локализации деформаций получаемая величина удлинения образца становится малоинформативной. Данный момент времени в экспериментах обычно неизвестен, поэтому изучение появления и развития шейки представляет большой интерес. При стандартных испытаниях (эксперимент в закрытой, темной печи, измеряется только удлинение образца во времени) эти данные получить невозможно. При интерпретировании результатов испытаний на ползучесть образцов постоянного сечения при постоянном напряжении  $s_0$  и постоянной температуре  $T$  можно рассмотреть два подхода.

Один из них исходит из учета микроструктурной неоднородности материала вдоль оси образца. В случае постоянного поперечного сечения и постоянного структурного состояния в образце зависимость деформации ползучести от времени  $p(t)$  - одна и та же для произвольной координаты сечения  $y$ . Пусть в окрестности продольной координаты  $y=y_0$  образец до нагружения имеет ослабленное сечение. В этом случае в результате действия одинакового вдоль оси напряжения  $s_0$  отрезок  $dy(y_0)$  приобретет большую продольную деформацию по сравнению с соседними сечениями и в связи с условием несжимаемости – большую поперечную деформацию ползучести. Таким образом, при учете микроструктурной неоднородности материала стержня шейка в образце появляется в момент нагружения образца. Так как слабые микроструктурные состояния существуют в различных сечениях образца, то в этих сечениях в момент нагружения появляются шейки

различных размеров. С течением времени отличия поперечных размеров сечений в этих местах от размеров соседних сечений увеличиваются. До некоторого значения  $t$  эти изменения настолько малы, что их трудно измерить обычными приборами. Тот момент времени  $t_0$ , при котором отличие величины поперечного сечения в каком-либо сечении относительно соседних можно измерить обычными приборами, принято считать моментом появления шейки.

Согласно второму подходу предполагается, что при  $t < t_0$  площадь поперечных сечений в образце не зависит от продольной координаты образца и только в момент времени  $t = t_0$  в одном из сечений появляется шейка. В данном отчете интерпретация результатов экспериментального исследования шейкообразования проводится с использованием этого подхода.

В этом исследовании предполагается, что вплоть до некоторого значения образец растягивается однородно, с сохранением правильной цилиндрической формы, и только после этого появляется переменное по длине поперечное сечение. Разработан бесконтактный метод измерений поля перемещений и геометрических параметров осаживаемого цилиндра при высокой температуре. Этот метод состоит из специальной оптической системы, фоторегистратора и программного комплекса. Представлены результаты проведенных экспериментальных исследований ползучести плоских стандартных образцов из алюминиевого сплава при температуре 400 С. Образцы испытывались в условиях ползучести при различных начальных растягивающих напряжениях. Использование разработанной бесконтактной системы измерений позволило получить зависимости изменения формы образцов, перемещения поверхностных точек, истинного напряжения в образце и других параметров от времени. Исследованы зависимости ширины и толщины образца в месте разрушения от начального напряжения. Определены относительный интервал времени деформирования, при котором образец растягивается равномерно, т.е. время образования локализации деформаций. Введены понятия «быстрая» и «долгая» локализации.

Исследуется натурная ползучесть вплоть до разрушения цилиндрических ( $d_{01} = 5$  мм и  $d_{02} = 4$  мм) образцов из алюминиевого сплава Д16Т при рабочей температуре деформирования 400 С, растягиваемых в условиях ползучести постоянной силой с начальным напряжением  $s_0 = 33$  МПа. Разработанные критерии показывают, что момент образования шейки происходит не в конце жизненного цикла образца, а задолго до разрушения.

Проведен анализ процесса локализации деформаций в плоских образцах, наблюдаемого в процессе высокотемпературных испытаний при ползучести вплоть до разрушения. Впервые показано, что равномерная деформация образцов происходит в течение времени, составляющего только 30–50% от времени до разрушения, после чего появляется значительная неоднородность деформирования. Зафиксирован момент времени, в который на образце образуется шейка. Этот момент соответствует расхождению зависимостей для условных и истинных максимальных напряжений. Было выяснено, что образцы с более низким начальным напряжением разрушаются при больших значениях ширины и толщины образца в зоне локализации. С повышением начального растягивающего напряжения и приближением к месту локализации увеличивается отношение ширины к толщине в разрушенном образце. Показано, что плоские образцы по сравнению с цилиндрическими образцами деформируются более равномерно в своей рабочей части.

### **Прогнозирование длительной прочности на большие времена до разрушения**

Наличие разнообразных подходов при разработке методов оценки длительной прочности, большое разнообразие предлагаемых предельных параметров, неиссякаемый поток

публикаций в этом и сходном с ним направлениях свидетельствуют о наличии существенных проблем при анализе длительной прочности.

Насущная потребность решения проблемы оценки длительной прочности делают актуальными попытки разработки принципиально новых подходов в механике деформируемого твердого тела к формулировке определяющих соотношений связи между напряжениями и деформациями.

Один из подходов к этой проблеме связан с использованием баланса энергии деформируемого материала, базирующегося на основных принципах термодинамики. К сожалению, здесь также возникают проблемы, связанные с неопределенностью второго закона термодинамики и отсутствием, по словам И.Р. Пригожина, точных формул, позволяющих вычислять производство энтропии – величины, крайне необходимой при учете баланса энергии, в данном случае – в деформируемом теле.

С целью решения указанных проблем в работе в первую очередь предлагается введение дополнительного слагаемого в неравенство Клаузиуса, за счет чего устанавливается, что полное приращение энтропии состоит из ее обратимого и необратимого изменения внутри системы с одной стороны и обмена ее части с внешней средой – с другой.

Анализ процессов деформирования указывает на необходимость учета энтропии при динамическом и статическом нагружении упругих, вязкоупругих, пластических и других категорий деформируемых материалов. При этом предлагается учитывать как обратимую, так и необратимую часть энтропии.

Например, при динамическом нагружении линейно упругих материалов производство энтропии и поглощение определенной части энергии проявляется в различии динамических и статических значений модуля Юнга. При полной разгрузке деформируемого тела в этом случае поглощаемая энтропия полностью освобождается, что свидетельствует об ее обратимости в таком процессе.

Точно также экспериментальные исследования и анализ процессов деформирования линейно вязкоупругих материалов позволяют сделать заключение об обратимости производства энтропии в процессах ползучести и релаксации таких материалов, причем это происходит не мгновенно, но с некоторой задержкой по времени.

Исходя из этих фактов, в работе в качестве формулы для производства обратимой части энтропии предложено использовать интегральную формулу Вольтерра с запаздывающим ядром, содержащим регулярную часть и аддитивную сингулярную составляющую.

Для описания производства необратимой части энтропии, необходимость чего возникает, например, в процессах пластического деформирования, предполагается использовать кусочно-линейные соотношения, построенные с использованием смешанных функционалов. Рассматриваются также некоторые другие варианты формул для производства энтропии, в частности, кусочно-аналитические формы соотношений, основанные на полученном М. Карафа (M. Carafa) представлении нелинейного аналитического функционала при помощи двух линейных.

### **Ползучесть мембран в стесненных условиях**

Рассматривается стесненное деформирование длинной узкой прямоугольной мембраны внутри жесткой криволинейной матрицы под воздействием равномерного поперечного давления. Поверхность матрицы в декартовых координатах задана параболой степени  $k > 2$ . В качестве граничных условий рассматриваются идеальное скольжение и прилипание. При моделировании деформирования мембраны используется сингулярная дробно-степенная модель ползучести. Процесс деформирования мембраны разделяется на четыре

стадии: мгновенное упругое деформирование, свободное деформирование при ползучести, стесненное деформирование с одной свободной частью мембраны и стесненное деформирование с двумя свободными частями мембраны. В ходе численного эксперимента для конкретных параметров задачи были получены следующие результаты: в случае идеального скольжения или прилипания мембрана заполняет матрицу соответственно за бесконечное или конечное время

### **3.6. Сопоставление полученных результатов с мировым уровнем**

Все полученные результаты находятся на мировом уровне или превышают его.

### **3.7. Степень новизны полученных результатов**

Впервые решена связанная задача о длительной прочности растягиваемого стержня в присутствии агрессивной окружающей среды, в которой учитывается взаимная зависимость уровня концентрации среды в материале стержня и уровня накапливаемой поврежденности материала.

Впервые исследована длительная прочность растягиваемого стержня в агрессивной среде при учете монотонно убывающей зависимости коэффициента диффузии от уровня элементов накопленной окружающей среды в материале стержня.

Впервые показана возможность моделирования влияния запирающего эффекта диффузионного процесса на длительную прочность.

Решен цикл задач о деформировании длинной узкой прямоугольной мембраны при закрепленных длинных сторонах под действием поперечного давления. Показано, что при различных формах поперечного сечения матриц и при различных контактных условиях возможны как разрушение мембраны, так и заполнение пространства внутри матрицы.

#### **3.7.1. Методы и подходы, использованные в ходе выполнения Проекта**

Получено аналитическое решение цикла задач о ползучести и длительной прочности стержней и пластин при растяжении и изгибе. Данное решение получено в предположении существования диффузионного фронта и фронта разрушения. Показано, что приближенное решение уравнения диффузии отличается от точного решения на единицы процентов. При проведении испытаний разработан новый измерительный бесконтактный комплекс, позволяющий измерять деформации ползучести образца внутри печи.

#### **3.7.2. Вклад каждого члена коллектива в выполнение Проекта в 2016 году**

А.М. Локощенко является научным руководителем и соисполнителем всех разделов отчета, кроме раздела о прогнозировании длительной прочности. А.М. Локощенко с Л.В. Фоминым проводили аналитические исследования ползучести и длительной прочности элементов конструкций в агрессивной среде. В.В. Терауд проводил экспериментальное исследование возникновения и развития шейки. Г.З. Шарафутдинов разрабатывал различные подходы при изучении прогнозирования длительной прочности на большие времена до разрушения. В.В. Назаров исследовал ползучесть и длительную прочность растягиваемых стержней с учетом возникающей пористости. Е.К. Малюкова и Ю.Г. Басалов участвовали в проведении необходимых вычислений. А.В. Соколов в выполнении исследований не участвовал.

#### **3.8.1. Количество научных работ по Проекту, опубликованных в 2016 году**

4

##### **3.8.1.1. Из них в изданиях, включенных в перечень ВАК**

3

3.8.1.2. Из них в изданиях, включенных в библиографическую базу данных РИНЦ

3

3.8.1.3. Из них в изданиях, включенных в международные системы цитирования (библиографические и реферативные базы научных публикаций)

3

3.8.2. Количество научных работ, подготовленных в ходе выполнения Проекта и принятых к печати в 2016 году

4

3.9. Участие в 2016 году в научных мероприятиях по тематике Проекта

5

3.10. Участие в 2016 году в экспедициях по тематике Проекта, которые проводились при финансовой поддержке Фонда

0

3.11.1. Финансовые средства, полученные в 2016 году от Фонда (в руб.)

510000,00

3.11.2. Финансовые средства, полученные в 2015 году от Фонда (в руб.)

630000,00

3.11.3. Финансовые средства, полученные в 2014 году от Фонда (в руб.)

530000,00

3.12. Адреса (полностью) ресурсов в Интернете, подготовленных авторами по данному проекту

0

3.13. Библиографический список всех публикаций по Проекту за весь период выполнения проекта, в порядке значимости: монографии, статьи в научных изданиях, тезисы докладов и материалы съездов, конференций и т.д.

1. Локощенко А.М. Ползучесть и длительная прочность металлов. - М.: Физматлит, 2016. 504 с.
2. Локощенко А.М., Фомин Л.В. Длительное разрушение пластин при переменных изгибающих моментах в присутствии агрессивной среды // Прикладная математика и механика. 2016. №2. С. 276-284.
3. Локощенко А.М. Результаты исследований ползучести и длительной прочности металлов в Институте механики МГУ имени М.В. Ломоносова (к юбилею Ю.Н. Работнова) // Прикладная механика и техническая физика. 2014. Том . №1. С. 144-165.
4. Локощенко А.М., Фомин Л.В. Влияние формы поперечного сечения растягиваемых стержней на длительную прочность в присутствии агрессивной окружающей среды // ПМТФ. 2016. С. 35-44.



5. Локощенко А.М., Кулагин Д.А. Влияние запирающего эффекта диффузионного процесса на длительную прочность // Вестник Московского университета. Серия 1. Математика, механика. 2014. № 5. С. 65-68.
6. Локощенко А.М., Фомин Л.В. Моделирование длительной прочности растягиваемых стержней в агрессивной среде с учетом переменного коэффициента диффузии // Механика композитных материалов. 2014. №6. С. 1033-1042.
7. Фомин Л.В. Установившаяся ползучесть составного стержня при растяжении в присутствии агрессивной среды. // Механика композитных материалов, издательство Зитанте (Рига). 2016. № 6. С.
8. Локощенко А.М., Фомин Л.В. Длительное разрушение пластины при изгибе с учетом влияния агрессивной среды // Успехи современного естествознания. Сер. «Физ.-мат. науки». 2015. №1. Часть 4. С. 639-640.
9. Локощенко А.М., Фомин Л.В. Ползучесть и длительная прочность стержней при растяжении и изгибе в присутствии агрессивной среды. Известия МГТУ МАМИ. Сер. Естественные науки. 2015. №2 (24). Том 4. С. 76-84.
10. Терауд В.В., Валисовский Н.Е. Экспериментальные исследования особенностей локализации деформаций плоских образцов, растягиваемых при высокотемпературной ползучести // Машиностроение и инженерное образование. 2015. №2. С. 40-47.
11. Назаров В.В. Деформации цилиндрической трубы // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2014. Т. 80. № 8. С. 56 – 58.
12. Локощенко А.М., Фомин Л.В. Ползучесть и длительное разрушение изгибаемых стержней и пластин в присутствии агрессивной окружающей среды. Сб. трудов «XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики» (Казань, 20-24.08.2015). Изд-во Казанского (Приволжского) федерального университета. 2015. С. 2344-2346.
13. Локощенко А.М. Применение концепции рассеянного разрушения при моделировании ползучести и длительной прочности металлов // XXI Петербургские чтения по проблемам прочности (к 100-летию со дня рождения Л.М. Качанова и Ю.Н. Работнова) 15-17.04.2014, СПбГУ. Сборник материалов. Санкт-Петербург. 2014. С. 71-74.
14. Шарафутдинов Г.З. Комплексные потенциалы в теории упругости. // Упругость и неупругость. Материалы междунар. симп. по пробл. механики деформ. тел, посв. 105-летию со дня рождения А.А. Ильюшина. Москва, 20-21 января 2016 г. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2016. С.425-429.
15. Локощенко А.М., Фомин Л.В. Ползучесть и длительное разрушение стержней и пластин в агрессивной среде. Проблемы прочности, пластичности и устойчивости в механике деформируемого твердого тела. Сб. трудов VIII Международного научного симпозиума, посвященного 85-летию со дня рождения В.Г. Зубчанинова (9-11.12.2015, Тверь). Тверской гос. техн. университет. Тверь. 2015. С. 30-33.
16. Локощенко А.М., Уколова А.В. Деформирование длинной узкой прямоугольной мембраны внутри клиновидной матрицы // Успехи механики сплошных сред. Сб. докл. на между. конф., посвящ. 75-летию академика В.А. Левина (28.09 – 04.10.2014, Владивосток). Институт автоматизации и процессов управления (ИАПУ) ДВО РАН. Владивосток. 2014. С. 305-308.
17. Терауд В.В. Методика измерения характеристик ползучести in situ в процессе испытаний // XXI Петербургские чтения по проблемам прочности. К 100-летию со дня рождения Л.М.Качанова и Ю.Н. Работнова (Санкт-Петербург. 15-17 апреля 2014г.). Сборник материалов. СПб.: Соло, 2014. С. 245 – 247.
18. Терауд В.В. Итоги исследования локализации высокотемпературных деформаций на плоских образцах // Труды конференции-конкурса молодых ученых Инст. Мех. МГУ (12-14.10.2015). Изд-во МГУ. М. С. 217-222.
19. Teraud W.V. Research of high temperature strain localization on one-axis stretching test. Experiment // X Международная летняя школа-конференция «Компьютерные

- технологии анализа инженерных проблем механики», посвященной 55-летию полета Ю.А. Гагарина в космос. Москва, 04.07.16–18.07.16. Компьютерные технологии анализа инженерных проблем механики. Материалы школы. Под редакцией Ю.М. Окунева. – М.: Изд-во Московского университета, 2016. P.42-45.
20. [Fomin L., Lokoshchenko A. Modeling of creep rupture of the tensile rods in an aggressive medium with account of variable diffusion coefficient // XVIII International Conference «Mechanics of Composite materials» \(Inst. of Polymer mech., Univ. of Latvia, 02.06-06.06.2014, Riga\). Riga. Latvia. 2014. P. 119.](#)
  21. Локощенко А.М., Фомин Л.В. Влияние агрессивной среды на длительную прочность растягиваемых стержней с учетом переменного коэффициента диффузии // Ломоносовские чтения. Тезисы докладов [научной конференции](#). Секция механики. (14-23.04.2014. Москва, МГУ имени М.В.Ломоносова). М.: Издательство Московского университета. 2014. С. 104-105.
  22. Локощенко А.М., Уколова А.В. Ползучесть длинной мембраны под поперечным давлением вплоть до заполнения жесткой матрицы // Ломоносовские чтения. Тезисы докладов [научной конференции](#). Секция механики. (14-23.04.2014. Москва, МГУ имени М.В.Ломоносова). М.: Издательство Московского университета. 2014. С. 104.
  23. Локощенко А.М., Терауд В.В. Экспериментальное исследование возникновения и развития шейки в растягиваемых образцах при ползучести // Ломоносовские чтения. Тезисы докладов [научной конференции](#). Секция механики. 18-27 апреля 2016 г. Москва, МГУ имени М.В.Ломоносова. М.: Издательство Московского университета. С. 120-121.
  24. Шарафутдинов Г.З. О плоских задачах теории упругости // Ломоносовские чтения. Тезисы докладов [научной конференции](#). Секция механики. 18-27 апреля 2016 г. Москва, МГУ имени М.В.Ломоносова. М.: Издательство Московского университета. 2016. С. 173-174.
  25. Шарафутдинов Г.З. Изучение вязкоупругих и вязкопластических свойств мерзлых грунтов при помощи кусочно–линейной модели деформируемого твердого тела // Ломоносовские чтения. Тезисы докладов [научной конференции](#). Секция механики. 18-27 апреля 2016 г. Москва, МГУ имени М.В.Ломоносова. М.: Издательство Московского университета. С.174-175.
  26. Терауд В.В. Некоторые итоги исследования локализации деформаций в плоских образцах при высокотемпературном растяжении // Междун. молод. научная конф. “XLII Гагаринские чтения”. Сборник тез. док. в 4т. М.: МАИ. 2016. С. 162-163.
  27. Терауд В.В. Момент образования шейки при растяжении круглых образцов при ползучести в натурных экспериментах // Тез. док. Международная конференция “Живучесть и конструкционные материаловедение” (ЖивКом – 2016): материалы конференции. Москва. 26-28 октября 2016 г. М.: Изд-во ИМАШ РАН. 2016. С. 72.
  28. Фомин Л.В. Анализ распределения напряжений в составном стержне в процессе ползучести в присутствии агрессивной среды. // В сборнике “Материалы конференции “Живучесть и конструкционное материаловедение” (ЖивКом–2016): материалы конференции. Москва. 26-28 октября 2016 г. М.: Изд-во ИМАШ РАН. 2016. С. 73-73.
  29. Фомин Л.В. Установившаяся ползучесть составного стержня при растяжении в присутствии агрессивной среды. // Ломоносовские чтения. Тезисы докладов [научной конференции](#). Секция механики. 18-27 апреля 2016 г. Москва, МГУ имени М.В.Ломоносова. М.: Издательство Московского университета. 2016. С. 168-169.
  30. Назаров В.В. Модель ползучести и водородной коррозии стальной цилиндрической трубы / Международная конференция "Актуальные проблемы прочности". 9-13 июня 2014 года. Харьков: ННЦ ХФТИ, 2014. С. 40.
  31. Назаров В.В. Описание установившейся ползучести при растяжении и кручении трубчатых образцов / Международная конференция "Актуальные проблемы прочности". 9 – 13 июня 2014 года. Харьков: ННЦ ХФТИ, 2014. С. 126.

32. Назаров В.В. Модель ползучести наводороженных сплошных цилиндров и экспериментальное исследование влияния концентрации растворенного водорода на характеристики ползучести и длительную прочность титановых сплавов / Международная конференция "Актуальные проблемы прочности". 9-13 июня 2014 года. Харьков: ННЦ ХФТИ, 2014. С. 197.
33. Назаров В.В. Деформации раздуваемой цилиндрической трубы / Международная конференция "Актуальные проблемы прочности". 9 – 13 июня 2014 года. Харьков: ННЦ ХФТИ, 2014. С. 198.

3.14. Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ, которому, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта

Транспортные и космические системы

3.15. Критическая технология РФ, которой, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта

Базовые и критические военные и промышленные технологии для создания перспективных видов вооружения, военной и специальной техники

3.16. Основное направление технологической модернизации экономики России, которому, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта

Космические технологии, прежде всего связанные с телекоммуникациями, включая ГЛОНАСС и программу развития наземной инфраструктуры.