

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Деревянка Екатерины Евгеньевны «Методы расчёта релаксации остаточных напряжений в поверхностно упрочнённых статически неопределимых стержневых конструкциях в условиях ползучести», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 Механика деформируемого твердого тела

1. Актуальность проблемы.

Создание новых методов прогнозирования эволюции остаточных напряжений в поверхностно упрочненных деталях машин, работающих в условиях сложных температурно-силовых воздействий, является актуальной задачей, решение которой необходимо для проектирования изделий с повышенными показателями надежности эксплуатации. Ползучесть ведет к перераспределению необратимых деформаций в изделии и релаксации поверхностных остаточных напряжений, определяющих усталостную долговечность, что делает такие расчеты достаточно нетривиальными и довольно редко распространенными в инженерной практике авиационного моторостроения, которые стараются избегать. Целью работы являлась разработка методики расчета релаксации остаточных напряжений в поверхностно упрочненных статически неопределимых стержневых конструкциях в условиях высокотемпературной ползучести при сложном температурно-силовом нагружении для прогнозирования ресурса деталей машин, включающей калибровку модели по данным разрушающего контроля и экспериментов на ползучесть, а также экспериментальное подтверждение результатов.

2. Структура и содержание работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 169 наименований и двух приложений, содержит 201 страницу текста с 43 рисунками. По структуре и оформлению диссертация и автореферат диссертации соответствуют установленным требованиям.

Во *введении* сформулированы актуальность темы, объект, предмет, цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, соответствие диссертации паспорту научной специальности, положения, выносимые на защиту, степень их достоверности и обоснованности, апробация, опубликованность, внедрение полученных результатов, личный вклад автора, поддержка научными фондами, благодарности, статистический обзор диссертации.

В *первой главе* приводится аналитический обзор методов и средств решения задач реконструкции остаточных напряжений в деталях машин, подвергнутых поверхностному упрочнению, и их релаксации в условиях ползучести при сложных режимах температурно-силового нагружения. Отдельно рассмотрены работы, относящиеся к стержневым статически неопределимым системам в качестве объекта исследования.

Во *второй главе* разрабатывается метод расчета релаксации остаточных напряжений в поверхностно упрочненных стержневых статически неопределимых конструкциях. С этой целью формулируется общая постановка задачи, уравнения (равновесия, совместности, упругости и ползучести), их решение в виде точных квадратурных формул для искомых величин и алгоритм их последовательного определения для статически неопределимых конструкций, состоящих из однородных стержней, который обобщается на случай поверхностно упрочненных. Учитывается изменение состояния системы на этапах ее нагрева и охлаждения, вызванное зависимостью модуля упругости от температуры. В качестве модели ползучести использована модель Ю.П. Самарина для первых двух стадий ползучести. Далее в качестве примера рассматривается задача для плоской трехстержневой статически неопределимой системы с несимметричным расположением элементов, для которой последовательно рассчитывается эволюция напряжений в условиях ползучести при температурно-силовом нагружении — без учета поверхностного упрочнения и с его учетом. Отдельно исследуется частный случай рассмотренной системы — с симметричным расположением элементов. Описаны качественные закономерности изменения напряжений в элементах системы в процессе ползучести и переходных процессов нагрева и охлаждения.

В *третьей главе* разрабатывается методика расчета релаксации остаточных напряжений в поверхностно упрочненных полых и сплошных цилиндрах в условиях ползучести при сложном температурно-силовом нагружении (комбинации термоэкспозиции, осевого растяжения, кручения и внутреннего давления) и жестких ограничениях на осевые и угловые линейные перемещения. Описана процедура реконструкции остаточных напряжений и порождающих их собственных деформаций, необходимых в качестве начальных условий для расчета эволюции релаксации напряжений, по данным эксперимента. Формулируется задача, приводятся уравнения (равновесия, совместности, упругости и ползучести) и их решение в виде точных квадратурных формул для искомых величин и алгоритм их последовательного определения в процессе ползучести при сложном

температурно-силовом нагружении и кинематических ограничениях. Методика применяется к исследованию релаксации остаточных напряжений в условиях ползучести при кинематических ограничениях в зависимости от величин температуры, растягивающей силы и крутящего момента — для сплошного поверхностно упрочненного цилиндра, а также полого цилиндра, упрочненного только снаружи или внутри и снаружи. Описаны качественные закономерности изменения напряжений во времени в зависимости от вида нагружения и наличия кинематических ограничений. В частности, установлено замедление процесса релаксации напряжений при наличии кинематических ограничений и интенсификация этого процесса в полых цилиндрах при приложении внутреннего давления, что представляет собой нетривиальное следствие проявления нелинейности свойств ползучести.

В *четвертую главу* вынесены алгоритмы и программные комплексы, разработанные в рамках реализации методики, а также описание используемых численных методов.

В *заключении* сформулированы основные выводы и научные результаты работы.

Приложения содержат акты внедрения результатов работы на предприятии ПАО «ОДК-Кузнецов» (г. Самара) и в учебном процессе Самарского государственного технического университета.

3. Теоретические результаты диссертации и их научная новизна. В данной работе впервые построена модель релаксации остаточных напряжений при высоких температурах в поверхностно упрочненных статически неопределимых стержневых конструкциях, а также сплошных и полых цилиндрических деталях машин при комбинированных видах температурно-силового нагружения при наличии кинематических ограничений с учетом процессов нагрева и охлаждения, позволившая установить ряд нетривиальных нелинейных эффектов протекания процесса в зависимости от сочетания условий нагружения.

4. Практическая значимость результатов диссертации.

Методика расчета релаксации остаточных напряжений при высоких температурах в поверхностно упрочненных статически неопределимых стержневых конструкциях, а также сплошных и полых цилиндрических деталях машин при комбинированных видах температурно-силового нагружения при наличии кинематических ограничений с учетом процессов нагрева и охлаждения имеет большую практическую значимость для конструирования авиационных агрегатов с высокими требованиями по прочности. Рассмотренные автором тела и конструкции встречаются в

практических приложениях, а технологии поверхностной обработки ответственных деталей машин повсеместно применяются для наведения сжимающих остаточных напряжений вблизи поверхности, препятствующих зарождению усталостных трещин.

5. Достоверность результатов диссертации.

Достоверность положений, выносимых на защиту, обеспечивается использованием уравнений механики деформируемого твердого тела, математических моделей ползучести для рассматриваемых сталей и сплавов при заданных уровнях температуры, напряжений и временных интервалов, реальных распределений остаточных напряжений после пневмодробеструйной обработки, выполнением проверки адекватности математической модели в предельных и частных случаях, а также анализом результатов расчета.

6. Апробация работы. Основные результаты диссертации Е.Е. Деревянка опубликованы в пяти научных журналах из перечня ВАК, входящих в международные системы цитирования, и докладывалась на восьми международных и всероссийских конференциях по профилю механики деформируемого твердого тела. Полностью работа докладывалась на профильных научных семинарах Самарского государственного технического университета и Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева. Работа выполнялась в рамках проектов РФФИ, результаты которых проходят полноценную научную экспертизу.

7. Замечания и вопросы по содержанию работы.

1. В разделах 3.5-3.7 приведены распределения главных компонент тензора остаточных напряжений после пневмодробеструйной обработки, но не приведены порождающие их распределения собственных (пластических) деформаций $q_i(r)$, $i = 1, 2, 3$, которые также использовались в качестве начальных условий для расчета эволюции релаксации напряжений в поверхностно обработанных сплошном и полом цилиндрах в условиях ползучести.

2. Попадают ли в диапазон 800-1000°C температуры эксплуатации рассматриваемых в главе 3 сталей и сплавов? Существенная релаксация остаточных напряжений, происходящая в течение 50-100 ч согласно результатам диссертации, ставит под сомнение целесообразность рассмотрения остаточных напряжений в качестве цели пневмодробеструйной обработки подобных сталей и сплавов при их эксплуатации в таких условиях.

3. Можно ли дать объяснения установленным в численных экспериментах нетривиальным кинетическим явлениям замедления процесса релаксации напряжений при наличии кинематических ограничений и интенсификации этого процесса в полых цилиндрах при приложении внутреннего давления, представляющим собой следствия проявления нелинейности свойств ползучести?

Указанные вопросы и замечания не ставят под сомнение положения, выносимые на защиту, но требуют комментариев. Замечания в целом не меняют общего положительного впечатления от диссертационной работы.

8. Заключение по диссертации.

Диссертация представляет собой самостоятельную завершённую научно-квалификационную работу, в которой предложены новые методы расчёта релаксации остаточных напряжений в поверхностно упрочнённых статически неопределимых стержневых конструкциях в условиях высокотемпературной ползучести при сложном нагружении для прогнозирования ресурса деталей машин. Диссертационная работа Деревянка Екатерины Евгеньевны на тему «Методы расчёта релаксации остаточных напряжений в поверхностно упрочнённых статически неопределимых стержневых конструкциях в условиях ползучести» выполнена на высоком научно-методическом уровне и отвечает всем требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 года (в редакции от 18.03.2023 года), а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 (ранее 01.02.04) – «Механика деформируемого твёрдого тела».

Официальный оппонент:

заведующий лабораторией нелинейной механики деформируемого твёрдого тела Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук (ИМСС УрО РАН) — филиала ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН,
доктор физико-математических наук (01.02.04), доцент

30 октября 2023 года

Келлер Илья Эрнстович

Служебный телефон: +7(342)2378307. E-mail: kie@icmm.ru

Служебный адрес: 614013, г.Пермь, ул. Акад. Королёва, д.1, ИМСС УрО РАН

Подпись И.Э. Келлера заверяю

Ученый секретарь ИМСС УрО РАН

Юрлова Н.А.

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
Деревянка Екатерины Евгеньевны
«Методы расчёта релаксации остаточных напряжений
в поверхностно упрочнённых статически неопределимых стержневых
конструкциях в условиях ползучести»,
представленную на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.1.8 Механика деформируемого твёрдого тела

Актуальность темы диссертации Деревянка Е.Е. определяется с теоретической точки зрения постановками новых краевых задач для цилиндрических тел и стержневых систем с начальным напряжённо-деформированным состоянием, вызванным предварительным поверхностно пластическим деформированием, в условиях ползучести с жёсткими кинематическими ограничениями на компоненты вектора перемещений. С другой стороны, потребности инженерной практики при проектировании и эксплуатации конструкций современных энергомашин, особенно в высокотехнологичных отраслях машиностроения и авиадвигателестроения в условиях высокотемпературной ползучести, направлены на повышение их надёжности и ресурса, в первую очередь, с использованием современных технологических операций. Оценка степени влияния остаточных напряжений на характеристики прочности упрочнённых деталей экспериментально, путём натурных прочностных испытаний, требует больших материальных и временных затрат и в некоторых случаях не всегда возможна. Наиболее остро эта проблема стоит в области высокотемпературной ползучести, когда на фоне ползучести происходит релаксация остаточных напряжений, с которыми и связывают увеличение ресурса упрочнённых деталей по многим показателям надёжности. Поэтому разработка теоретических методов решения задач релаксации остаточных напряжений с учётом большого разнообразия конструкционных форм элементов конструкций, применяемых материалов, характера нагрузок и кинематических ограничений, условий эксплуатации и различных технологий

поверхностного упрочнения и их применения для ускоренного проектирования и доводки современных высоконагруженных машин при высоких температурах очевидна. Представленная диссертационная работа в рамках отмеченной важной проблемы направлена на решение частной задачи релаксации остаточных напряжений в статически неопределимых стержневых конструкциях с поверхностно упрочнёнными цилиндрическими элементами.

В связи с вышеизложенным, можно констатировать, что рассматриваемая диссертационная работа Деревянка Е.Е. решает как важную задачу теоретического характера в области ползучести упрочнённых стержневых конструкций, так и не менее важную задачу современного машиностроения и, несомненно, является актуальной.

Научная новизна исследований и полученных результатов.

Современное состояние проблемы, в рамках которой выполнена диссертационная работа, характеризуется развитием научных исследований по двум направлениям: решение задач формирования напряжённо-деформированного состояния после поверхностного пластического деформирования деталей и релаксации наведённых остаточных напряжений в условиях высокотемпературной ползучести. По первому направлению в достаточной мере развиты экспериментальные методы определения остаточных напряжений в гладких пластинах, цилиндрах, трубах, валах и в деталях с конструктивными концентраторами (галтели, отверстия, надрезы и т. д.). Однако подавляющее большинство из них применимо лишь в условиях нормальных (неповышенных) температур, их использование при высокотемпературной ползучести практически невозможно. Кроме этого, имеются прямые численные методы определения остаточных напряжений с использованием контактных квазистатических или динамических задач, но эти решения дают в большей степени качественную, нежели количественную, характеристику распределения остаточных напряжений.

Вопросы релаксации остаточных напряжений рассматриваются в крайне ограниченном количестве публикаций, а систематические исследования ведутся

в научной школе Самарского государственного технического университета, в рамках которой и подготовлена диссертация Деревянка Е.Е.

Исходя из вышеизложенного и анализа имеющихся публикаций, посвящённых исследованию релаксации остаточных напряжений в упрочнённых деталях при ползучести, основным результатом рецензируемой работы являются постановки новых краевых задач ползучести и методы их решения для статически неопределимых стержневых систем, элементы которых подвержены поверхностно пластическому деформированию, при наличии жёстких кинематических ограничений на компоненты вектора перемещений.

При решении основной задачи диссертационного исследования Деревянка Е.Е. получила ряд новых логически связанных научных результатов частного порядка, в том числе:

- предложен и реализован метод решения релаксации остаточных напряжений (в самой общей постановке) для статически неопределимых стержневых систем с цилиндрическими поверхностно упрочнёнными элементами в условиях ползучести, на основании которого выполнен параметрический анализ задачи и получен ряд новых результатов;

- методика решения краевой задачи ползучести поверхностно упрочнённого сплошного и полого цилиндров (конструкция из одиночного стержня) при кинематических ограничениях на угловые и осевые перемещения при нагружении осевой силой, крутящим моментом и внутренним давлением;

- параметрический анализ кинетики напряжённо-деформированного состояния упрочнённого с внешней и внутренней поверхности цилиндрического образца в достаточно широком диапазоне изменения внешних нагрузок (предварительное растяжение, кручение, внутреннее давление, термоэкспозиция и их комбинации) при заданных кинематических ограничениях на угловые и линейные перемещения;

- разработка нового, не имеющего аналогов, программного продукта для реализации разработанных методов релаксации остаточных напряжений в статически неопределимых системах;

– результаты новых теоретических исследований влияния вида температурно-силового нагружения на напряжённо-деформированное состояние и релаксацию остаточных напряжений в поверхностно упрочнённых элементах статически неопределимых систем из сталей и сплавов, имеющих широкое применение в авиадвигателестроении, энергетическом машиностроении, продуктопроводах различного назначения.

Перечислять частные новые конкретные результаты рецензент не видит необходимости, поскольку они сформулированы в пунктах «Научная новизна» и «Заключение» диссертационной работы, и они действительно имеют место быть.

Таким образом, суммируя вышеизложенное, можно констатировать, что основные результаты, положения и выводы несомненно обладают научной новизной.

Публикация основных материалов, апробирование работы, оформление.

Основные материалы работы и ее результаты достаточно полно отражены в приведённых 14 публикациях автора, в том числе в 5 статьях в рецензируемых журналах из библиометрических баз данных Web of Science и Scopus, которые также входят в перечень журналов ВАК. Диссертация прошла апробацию на многих научно-технических конференциях всероссийского и международного уровней, а также на научных семинарах в ведущих научных школах по данной тематике. К положительным моментам можно отнести то, что часть работы выполнялась в рамках двух грантов РФФИ, где проводится серьёзная экспертиза проектов.

Содержание автореферата полностью отражает идеи, результаты и выводы диссертации. Изложение материала диссертации и автореферата ясное и чёткое, они написаны в строгом академическом стиле. Диссертационная работа в достаточной степени проиллюстрирована результатами расчётов, качество её оформления хорошее. При использовании в тексте результатов других авторов корректно сделаны соответствующие ссылки.

Обоснованность и достоверность результатов.

Полученные результаты, выводы по диссертации, положения научной новизны достоверны, так как они базируются на корректно полученных результатах теоретических исследований, корректном использовании основных положений механики деформируемого твёрдого тела, теории дифференциальных уравнений, методов численного решения краевых задач в условиях реологического деформирования; непротиворечивостью модельных представлений реальному физико-математическому поведению материала в поверхностно упрочнённом слое рассмотренных элементов конструкций в поле внешних температурно-силовых нагрузок и кинематических ограничениях. В частных случаях выполнено сравнение расчётных данных с экспериментальными данными после поверхностно пластического упрочнения.

Значимость результатов для науки и практики.

Полученные в диссертационной работе Деревянка Е.Е. результаты имеют большое значение в теоретическом плане для механики деформируемого твёрдого тела в области разработки методов решения краевых задач с начальным напряжённо-деформированным состоянием для статически неопределимых стержневых систем с цилиндрическими поверхностно упрочнёнными элементами в условиях ползучести. Во-первых, поставлены и решены новые краевые задачи в этом направлении при жёстких кинематических ограничениях на угловые и линейные перемещения. Во-вторых, детальное исследование процессов релаксации остаточных напряжений даёт более широкое представление о поведении упрочнённых конструкций такого рода и протекающих в них процессах ползучести в рамках уже имеющихся исследований в механике поверхностно пластического упрочнения. С прикладной точки зрения полученные соискателем результаты имеют важное значение для науки о конструкционной прочности поверхностно упрочнённых элементов конструкций, в частности, авиадвигателестроении и энергомашиностроении, поскольку содержат в себе новые подходы к прогнозированию остаточных напряжений в условиях ползучести и жёстких кинематических ограничениях, по распределению которых можно судить,

например, о характеристиках усталостной прочности, микротвёрдости и трибологических характеристиках. Подтверждением этого является факт внедрения результатов диссертационной работы в расчётную практику ОКБ ПАО «ОДК-Кузнецов» (г. Самара), где поверхностно пластическое деформирование деталей авиадвигателей является штатной технологической операцией для повышения их ресурса в условиях высокотемпературной ползучести, о чём свидетельствует соответствующий акт о внедрении (Приложение Б). Важным является также факт «внедрения» полученных новых научных результатов в учебный процесс по ряду специальных дисциплин для магистров и аспирантов Самарского государственного технического университета (Приложение А).

Замечания по диссертационной работе.

1. Для удобства восприятия рассматриваемых задач и методов исследования в самом начале текста диссертации, в постановках задач, желательно было бы схематично на рисунке изобразить по оси времени все этапы температурно-силового нагружения: поверхностное пластическое деформирование, мгновенная температурно-силовая нагрузка, ползучесть (релаксация), разгрузка и т. д.

2. В качестве исходных данных для реконструкции начального напряжённо-деформированного состояния после процедуры поверхностного пластического деформирования (ППД) элементов конструкций цилиндрической формы соискателем используется экспериментально определённое распределение окружной компоненты тензора остаточных напряжений в приповерхностном слое. Далее используемая модель позволяет экстраполировать распределение окружной компоненты на всю глубину и в дальнейшем с помощью экспериментально полученной константы анизотропии определить радиальную компоненту тензора напряжений. Однако константа анизотропии определена только для приповерхностного слоя в 100-200 мкм. Насколько адекватен данный подход для определения напряжённо-деформированного состояния по всей глубине изделия?

3. Одно из упрощающих предположений соискателя состоит в том, что элементы стержневой системы прогреваются до температуры «эксплуатации»

мгновенно. Однако такая постановка в некоторой степени не «физична», поскольку этому процессу соответствует начальный участок нестационарной теплопроводности. Судя по результатам расчётов, после упрочнения уровень остаточных напряжений достаточно высокий и за этот период нестационарности может произойти релаксация остаточных напряжений, что в моделях не учитывается.

4. На странице 73 диссертации на рисунке 2.6. расчётные эпюры осевой и окружной компоненты тензора остаточных напряжений не совпадают. По какой причине это происходит, ведь в расчётах принят коэффициент анизотропии, равный единице? Также об этом факте, что в данном случае эпюры распределения окружных и осевых остаточных напряжений совпадают, автор диссертации написал ранее на странице 29 диссертации.

5. В расчётной методике используются разные значения модуля Юнга при переменных температурах. Почему тогда значение коэффициента Пуассона полагается независимым от температуры?

6. Из текста диссертации непонятно, имеются ли аналоги для разработанного соискателем программного комплекса? Почему (и возможно ли это?) не использовались многочисленные пакеты типа ANSYS? Может ли разработанный соискателем комплекс решать другие аналогичные задачи или с его помощью решаются конкретные рассмотренные в диссертации задачи с конкретными значениями параметров и реологическими математическими теориями?

7. В работе чётко не объяснено, чем обусловлен выбор материалов для стержневых конструкций Д16Т, ЖС6КП, 08Х18Н9 (Х18Н10Т)? Какова трудоёмкость реализации разработанного метода (от реконструкции напряжённо-деформированного состояния до расчёта релаксации остаточных напряжений), например, для новых материалов и технологий поверхностного упрочнения?

8. В своей диссертационной работе соискатель отмечает, что предлагаемый метод определения кинетики остаточных напряжений в процессе ползучести учитывает первую (с уменьшением скорости деформации) и вторую

(с постоянной скоростью деформации) стадии ползучести. Можно ли обобщить разработанный подход, в том числе, на третью ускоренную стадию ползучести?

9. В проведённом исследовании отмечаются также потенциально возможные факторы влияния агрессивных сред на элементы конструкций, в том числе, из упрочнённых материалов методами ППД, в процессе высокотемпературной ползучести. В качестве перспективы дальнейших исследований рецензент предлагает развивать данную тематику в направлении учёта деструктивного (или, наоборот, упрочняющего) влияния активной среды в моделях и расчётных методиках.

10. Имеются в незначительном количестве опечатки, например, в слове «упрочненных» (стр. 7, 36, 131, 132, 145, 177); на стр. 101 вместо фразы: «... подставляя (3.26) в (3.37)...» должно быть: «... подставляя (3.36) в (3.37)...»; на стр. 48, пункт 4, опечатка: «... разгрузке...», должно быть: «... разгрузки...».

Сделанные замечания носят частный характер, не умаляющие достоинств работы и не влияющие на общую положительную оценку выполненной работы.

Оценка диссертации в целом. Заключение.

Указанные выше недостатки не уменьшают научную и практическую значимость основных результатов диссертации. В целом работа выполнена на высоком научном уровне. Анализ результатов исследований, изложенных в диссертации, подтверждает обоснованность сформулированных автором научных положений, выводов и рекомендаций. Основные результаты в полном объёме освещены в публикациях соискателя. На основании вышеизложенного рассматриваемая диссертационная работа Деревянка Екатерины Евгеньевны является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной задачи – разработки новых методов расчёта релаксации остаточных напряжений в поверхностно упрочнённых цилиндрических элементах статически неопределимых стержневых конструкций в условиях реологического деформирования при наличии жёстких кинематических ограничений на компоненты вектора перемещений, которые востребованы научной практикой в механике поверхностно упрочнённых конструкций.

Работа является законченным научным исследованием, выполнена соискателем самостоятельно, отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г. (в редакции от 18.03.2023 г.), а её автор, Деревянка Екатерина Евгеньевна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 Механика деформируемого твёрдого тела.

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук (01.02.04),
ведущий научный сотрудник,
и.о. заведующего лабораторией проектирования
и прикладных методов расчёта композитных
конструкций,
государственное учебно-научное учреждение
Научно-исследовательский институт механики
Московского государственного университета
имени М.В. Ломоносова (НИИ механики МГУ
имени М.В. Ломоносова)

19 октября 2023 г.



Фомин Леонид Викторович

Согласен на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации Деревянка Екатерины Евгеньевны.

Служебный адрес:

119192, г. Москва, Мичуринский проспект, д. 1.

Тел.: 8 (495) 939-24-28, 8 (963) 671-72-99.

E-mail: common@imec.msu.ru, fleonid1975@mail.ru

Подпись Л.В. Фомина и сведения о нём удостоверяю:

И.о. директора Института механики МГУ имени М.В. Ломоносова,
д.ф.-м.н., профессор РАН



Д.В. Георгиевский