Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук
(ИМСС УрО РАН)
Академика Королева ул., д. 1,
Пермь, 614013
Телефон (342) 237-84-61
Факс (342) 237-84-87
E-mail: mvp@icmm.ru

27.05.2014 № 16344/17-163

На №_____от_____

Утверждаю

Директор
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института механики сплошных сред УрО РАН
академик РАН
В.П.Матвеенко

26 мая 2014 года

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационною работу **Панченко Галины Леонидовны**
«УПРУГИЕ, РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ТЕЧЕНИЯХ МАТЕРИАЛОВ»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела

Целью диссертации Панченко Г.Л. является разработка термомеханической модели течения вязкоупругопластической среды при больших деформациях. Это, несомненно, **важно** как для развития теории конечных деформаций сложных сред, так и для понимания и моделирования поведения реальных материалов в различных технологических процессах, что делает работу **актуальной.**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

Во введении содержится достаточно полный критический обзор работ по теме диссертации.

В первой главе приводятся кинематические соотношения больших упругопластических деформаций; определяющие соотношения и уравнения теплопроводности для областей упругого, пластического деформирования и разгрузки, вытекающие из первого закона термодинамики при условии начальной изотропии материала, и определяющие соотношения и уравнения теплопроводности в этих областях для механически несжимаемого материала. Выписано критериальное условие пластичности, учитывающее вязкие свойства материала.

Во второй главе, основываясь на соотношениях первой главы, строится аналитическое решение задачи течения несжимаемого упруговязкопластического материала между двумя жесткими коаксиальными бесконечно длинными круговыми цилиндрами, один из которых движется в осевом направлении. На поверхностях цилиндра ставится условие полного прилипания или проскальзывания, определяемое критерием сухого трения Кулона. В начальном состоянии (до движения цилиндра) в материале создается гидростатическое давление, от величины которого зависит, выполнится ли раньше условие Кулона и на поверхности начнется проскальзывание материала, или раньше материал перейдет в пластическое состояние и нач-

нется вязкопластическое течение. Последовательно рассматривается равноускоренное движение одной из поверхностей цилиндра, которое затем переходит в движение с постоянной скоростью, и, начиная с какого-то момента времени, равномерно замедляется. Автор методично исследует развитие в материале областей пластичности в процессе движения как внутреннего, так и внешнего цилиндра и распределение остаточных деформаций при различном начальном гидростатическом давлении, влияющем на выполнение критерия Кулона.

В третьей главе численно решается термовязкоупругопластическая связанная задача о сползании с наклонной плоскости тяжелого слоя бесконечной протяженности, нагреваемого со стороны его свободной поверхности. В работе сползание осуществляется за счет вязкопластического течения, которое имеет пороговый характер, определяемый пределом текучести материала. Уменьшение предела текучести с возрастанием температуры, что учитывается в диссертации, уменьшает порог начала течения и приводит к сползанию слоя. В главе построены графики распределения температуры и перемещений, определены границы области вязкопластического течения по толщине слоя в зависимости от времени.

Четвертая глава посвящена численному решению задачи о неизотермическом деформировании плоского слоя несжимаемого материала, лежащего на жесткой горизонтальной поверхности. К верхней границе слоя приложены сдвиговые и нормальные усилия. Нижняя – разогревается в результате трения. Автор методично, как и во второй главе, исследует развитие в материале областей пластичности в процессе нарастающего сдвига, неизменной и уменьшающейся сдвиговой нагрузке (вплоть до полной разгрузки) и охлаждении материала слоя. Найдены распределения по толщине слоя температуры, перемещений, деформаций и их скоростей, остаточных деформаций, определены границы области вязкопластического течения в зависимости от времени.

В заключении приведены основные результаты, полученные в диссертации.

Научная новизна работы заключается в следующем.

1. В рамках конечных деформаций построено аналитическое решение новой задачи о поведении несжимаемой среды, расположенной между двумя коаксиальными круговыми жесткими цилиндрическими поверхностями, одна из которых движется в осевом направлении равноускоренно, с постоянной скоростью и равнозамедленно. На поверхностях цилиндров возможно полное прилипание среды или, при выполнении критерия Кулона, проскальзывание с сухим и вязким трением. Поведение среды упругое или, при выполнении условия пластичности Треска – Сен-Венана, вязкоупругопластическое.

2. В рамках конечных деформаций решена связанная термоупруговязкопластическая задача о сползании тяжелого слоя с теплоизолированной наклонной плоскости. Свободная поверхность слоя нагревается, что вызывает уменьшение предела текучести материала и развитие вязкоупругопластического течения.

3. В рамках конечных деформаций решена связанная термоупруговязкопластическая задача о сдвиге предварительно поджатого слоя, расположенного на жесткой горизонтальной подложке. При выполнении критерия Кулона происходит скольжение слоя по подложке, и трение, возникающее в этом процессе, вызывает разогрев слоя.

Практическая значимость работы. Разработанные в диссертации подходы к исследованию в рамках конечных деформаций сред, которые проявляют как упругие, так и вязкопластические свойства, в том числе при температурных воздействиях, могут быть полезны для построения моделей поведения материалов в разных технологических процессах. Результаты диссертации могут быть использованы в Институте проблем механики РАН, Институте теоретической и прикладной механики СО РАН, Институте гидродинамики СО РАН, Институте механики сплошных сред УрО РАН и других институтах РАН, занимающихся подобной тематикой. Разделы работы могут найти отражения в специализированных курсах лекций, читаемых студентам и магистрам соответствующих специальностей.

Достоверность результатов подтверждается совпадением при малых деформациях полученных в диссертации упругих и упругопластических решений с известными результатами в случаях, когда необходимое сравнение можно осуществить.

Автореферат в полной мере соответствует диссертационной работе.

Публикации автора определяют его личный вклад в решение рассмотренной научной проблемы. По теме диссертации опубликовано 11 работ, из них 4 в центральных реферируемых изданиях (издания, рекомендованные ВАК РФ).

Принципиальных **замечаний** по работе нет, а изложенные ниже следует отнести к недостаткам представления материала.

1. Приведенные в первой главе в индексной форме общие кинематические, термодинамические и определяющие соотношения выглядят на сегодня архаично. Все это можно компактно записать в безиндексной тензорной форме безотносительно к какой-либо системе координат. Конечно, в последующих главах при решении конкретных задач выбор системы координат необходим.
2. На стр. 18 присутствует производная Коттер-Ривлина. Эта производная вводится «руками» или она вытекает из каких-либо преобразований?
3. На стр. 21 вводятся T - текущая температура и T_0 - температура тела в свободном состоянии, но не указывается абсолютные ли это температуры, или температуры в градусах Цельсия.
4. На стр. 24 автор пишет «… принципа максимума Мизеса ...». Как известно, этот принцип вытекает из постулата Друккера (Drucker). Поэтому и название у него должно быть «принцип максимума Друккера».
5. В выражениях (1.14), вытекающих из первого закона термодинамики (1.13), почему-то нет соотношения для энтропии, хотя оно дальше используется при построении уравнения теплопроводности (1.23).
6. Стр. 26, 2-я строка сверху. Текст «Для изотропной среды …». Нужно «Для начально изотропной среды …».
7. Стр. 36, 1-я строка сверху: $\sigma_{rr}\big|_{r=r_0} = \sigma_0$. Как создать это предварительное поджатие? Если за счет гидростатики, то $\sigma_{rr} = \sigma_{\varphi\varphi} = \sigma_{zz} = \sigma_0$ при любых $r_0 \le r \le R$.
8. Рис. 2.2, 2.3. По вертикальной оси указаны величины со множеством нулей после запятой, которые, естественно, нужно было привести к компактному виду.
9. Стр. 134. В предпоследнем абзаце перепутаны ссылки на рисунки. Вместо 4.17 должно быть 4.16, 4.19 $\Rightarrow$ 4.18, 4.18 $\Rightarrow$ 4.17, 4.20 $\Rightarrow$ 4.19.
10. Модель, используемая в работе, требует определения множество параметров как механических, так и теплофизических. Откуда их взять, какие нужны эксперименты, каким материалам они соответствуют в решаемых задачах? Справедливости ради следует отметить, что в задаче, рассматриваемой в главе 3, говорится, что значения параметров соответствуют алюминию. Тогда становится ясным, почему на рис. 3.2 температура свободной поверхности слоя, соответствующая началу пластического течения, практически равна температуре плавления: при меньшей температуре алюминий пластически не потечет.
11. При решении термовязкоупругопластических задач (главы 3 и 4) не учитывается зависимость параметров материала от температуры (кроме предела текучести). Чем это

обосновано, есть ли какие-то оценки? Можно ли в таком случае рассматривать процесс вплоть до температуры плавления материала?

12. При решении термовязкоупругопластических задач (главы 3 и 4) не учитываются температурные деформации. Только в этом случае для механически несжимаемого материала эйлерова координата свободной поверхности остается неизменной и на ней просто записываются граничные условия. Но обоснование неучета температурных деформаций, приведенное в последнем абзаце преамбулы главы 3, совершенно неубедительно. Действительно, температурные деформации достаточно малы и практически не повлияют на положение свободной поверхности. Но они могут привести к значительным дополнениям к гидростатическим напряжениям P_1 или P (соотношения Мурнагана (1.32)) в несжимаемом слое.

В целом представленная диссертационная работа является законченным научным исследованием, в котором модели больших термоупругопластических деформаций, предложенные и развиваемые в Дальневосточной школе механиков, успешно используются при решении конкретных задач. Полученные в работе результаты вносят существенный вклад в моделирование термовязкоупругопластических процессов, происходящих в материалах при больших деформациях. Необходимость же учета последних в рассмотренных задачах явно продемонстрирована в диссертации (см. рис. 2.8, 2.12, 2.16, 2.19, где деформации достигают почти $\pm$ 27% и $\pm$ 77%).

Считаю, что диссертационная работа Г.Л. Панченко «Упругие, реологические и теплофизические эффекты в прямолинейных течениях материалов» соответствует требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела, а ее автор – Панченко Галина Леонидовна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв обсужден на заседании ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института механики сплошных сред УрО РАН (протокол № 05-14 от 26 мая 2014 г.)

Заведующий лабораторией нелинейной
механики деформируемого твердого тела
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института механики сплошных сред
Уральского отделения
Российской академии наук,
Заслуженный деятель науки РФ, д.ф.-м.н., проф. А.А. Роговой