

УДК 533.6.07

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ ВО ВНУТРЕННИХ КАНАЛАХ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

А.Д. Чаплиц

Кандидат технических наук
 Отдел термогазодинамики
 Институт технической механики НАН и НКА
 Украины
 ул. Лешко-Попеля, 15, Днепропетровск,
 Украина, 49600
 Контактный тел.: (0562) 68-62-04; 066-602-18-10
 E-mail: a-chaplits@mail.ru

Пропонуються методи тіньової візуалізації газових потоків у внутрішніх каналах, з використанням поляризаційного інтерферометра з двоазаломлюючими призмами Волластона, і тіньового приладу ІАБ-451. Для спостереження кольорних ефектів інтерферометр налаштувався на «нескінченно широку смугу» спостереження при використанні «широкого» джерела світла. Результати досліджень можуть бути застосовані при експериментальних дослідженнях обтікання виробів газами в різних умовах

Ключові слова: візуалізація, газовий потік, прозора модель, поляризаційний інтерферометр, обробка зображень

Предлагаются методы теневой визуализации газовых потоков во внутренних каналах, с использованием поляризационного интерферометра с двоякопреломляющими призмами Волластона, и теневого прибора ИАБ-451. Для наблюдения цветowych эффектов интерферометр настраивался на «бесконечно широкую полосу» наблюдения при использовании «широкого» источника света. Результаты исследований могут быть использованы при экспериментальных исследованиях обтекания изделий газами в различных условиях

Ключевые слова: визуализация, газовый поток, прозрачная модель, поляризационный интерферометр, обработка изображений

1. Введение

Преимущества использования цвета при визуализации газовых потоков неоднократно отмечались [1 - 6]. Это обусловлено в первую очередь тем, что цветные изображения дают экспериментатору больше сведений о поле течения, чем черно-белые, поскольку на них вместо одной плотности почернения изменяются сразу три компонента, а именно: цвет, насыщенность цвета и яркость изображения [4]. Например, при визуализации прозрачных объектов легче выделить детали спектра обтекания модели вблизи ее границ, что особенно важно в случае наблюдения течения с большими градиентами плотности и пограничных слоев. Способы получения цветных теневых картин известны, и достигаются введением дополнительных элементов (диспергаторы, светофильтры, диафрагмы и др.) в коллиматорную и приемную часть теневых приборов [1 - 3]. Чувствительность таких методов ограничена, так как, например, трудно изготовить цветные диафрагмы очень тонкими полосками и секторами без стыков [1].

В настоящей работе цветовой спектр получался на перенастроенном в «цветовой» режим компенсированном поляризационном интерферометре [7, 8]. Теневая аппаратура собиралась на базе теневого прибора ИАБ-451, функционировавшего по схемам (рис. 1). Испытания проводились на газодинамическом стенде Института технической механики НАН и НКА Укра-

ины (ИТМ НАН и НКА Украины) с использованием плоских прозрачных моделей внутренних каналов [6, 9].

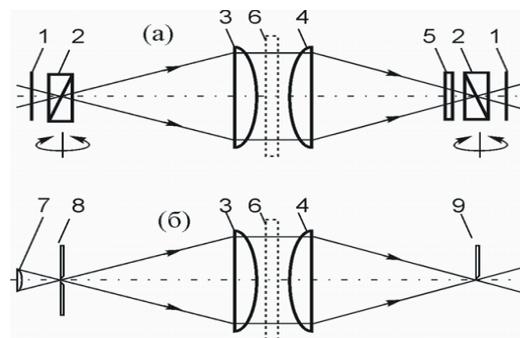


Рис. 1. Наладочные «цветные» схемы (а) интерферометра и (б) прибора Теллера: 1 - поляририд; 2 - призма Волластона; 3-4 - осветительный и коллиматорный объективы; 5 - пластинка полволны; 6 - оптическая неоднородность; 7 - диспергатор; 8 - щель; 9 - нож Фуко

2. Основная часть

Испытания проводились на рабочем месте газодинамического испытательного стенда ИТМ АН и НКА Украины (рис. 2) с использованием плоской прозрач-

ной модели внутреннего канала прибора снижения уровня звука выстрела (ПСУЗВ) [6, 9].

Модель ПСУЗВ была собрана согласно технической документации и установлена на рабочее место испытательного стенда (рис. 2).

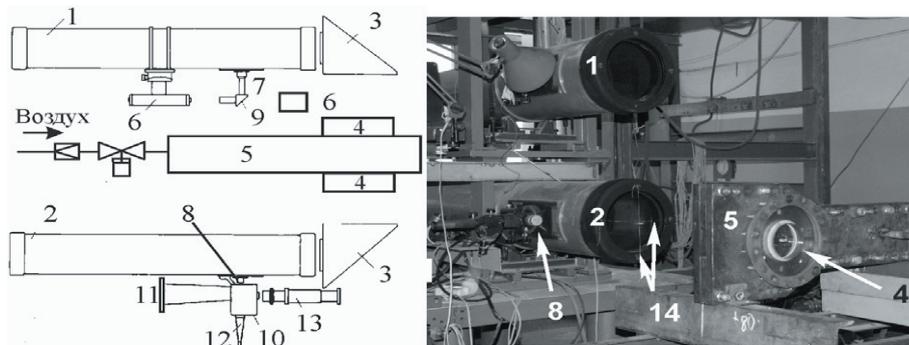


Рис. 2. Рабочее место испытании моделей ПСУЗВ: 1, 2 - осветительная и коллиматорная части прибора ИАБ-451; 3 - диагональные зеркала; 4 - защитные стекла; 5 - плоская модель ПСУЗВ; 6 - осветители (лазер или иной источник света); 7 - осветительный узел интерферометра; 8 - приемный узел интерферометра; 9 - поворотная призма; 10 - приемный поворотный узел; 11, 12 - основная и вспомогательная ветви фотографирования; 13 - наблюдательная ветвь; 14 - юстировочные нити

Основными базовыми частями для создания интерферометра [7, 8] служат (рис. 2): осветительная 1 и коллиматорная 2 части прибора ИАБ-451, диагональные зеркала 3, - защитные стекла 4 и испытуемая плоская модель ПСУЗВ 5. В качестве осветителей 6 могут использоваться лазер или «широкий» источник света 6. В данных испытаниях применялась лампа накаливания мощностью 60 Вт и напряжением 220 В. Осветительный узел 7 интерферометра (с поляридом 45 град.) крепился на штатное место осветителя. Приемный узел интерферометра 8 (с анализатором - 135 град.) крепился на штатное место ножа Фуко коллиматора 2. Между лазером и «широким» источником света устанавливался поворотная призма 9. Приемный поворотный узел 10 устанавливался между основной 11 и вспомогательной 12 ветвью фотографирования. Прибор юстировался и настраивался через наблюдательную ветвь 13. Оптическая ось системы 4 совмещалась с главной оптической осью коллиматора 2.

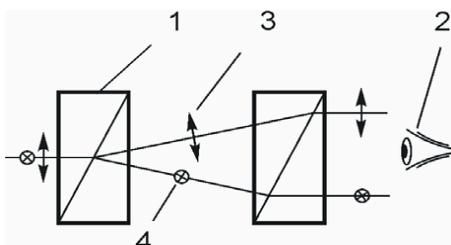


Рис. 3. К нахождению правильного положения призм [7]: 1 - Призма Волластона; 2 - наблюдатель; 3 - 4 - противоположно поляризованные компоненты центрального луча (обычный и необычный лучи)

Для наблюдения цветных эффектов прибор настраивался на «бесконечно широкую интерференци-

онную полосу» наблюдения. При этом выбиралась желто-зеленая область спектра, имеющая максимальную визуальную яркость [4]. В доступных источниках информации аналогичных настроек теневых приборов не обнаружено.

Перед испытаниями производилась юстировка и настройка визуализационной аппаратуры. Особенности и принцип получения «бесконечно-широкой полосы» показан на рис. 3-4. Перед испытаниями выбиралась плоскость рабочего поля и на нее фокусировалась видеокамера.

В общеизвестном виде интерференционная картина дает возможность установить форму волновой поверхности, прошедшей исследуемый прозрачный объект [7, 8, 10, 11]. Деформации волновой поверхности связаны с изменением плотности показателя преломления исследуемой среды. В нашем случае эти

деформации выражаются в изменениях цвета визуализационной картины.

Для испытаний плоская модель ПСУЗВ устанавливалась на рабочее место газодинамического стенда (рис. 2). Конструктивные особенности, сборка и регулировка модели перед испытаниями подробно описаны в [9]. Система подачи воздуха высокого давления подробно описана в [5, 9].

При экспериментах использовался очищенный и осушенный воздух высокого давления с точкой росы, не превышающей $T_p = 55^\circ\text{C}$.

Воздух при рабочем давлении P подавался в плоскую модель по подводящему трубопроводу (рис. 2).

Испытания проводились в следующем порядке.

- Продувочный газ под рабочим давлением подавался из баллонов высокого давления через входной вентиль на вход в модель (рис. 2).

- Значение входного давления автоматически регистрировалось. Дистанционно включалась цифровая камера и источники освещения.

- Регистрировались параметры испытаний (p_0 – давление на входе в модель, T_0 – температура торможения потока).

- Регистрировалась визуализационная картина течения в каналах модели.

- Отключалась подача продувочного воздуха в модель.

- Выключалась видеокамера.

- Закрывался входной вентиль подачи воздуха.

Результаты экспериментов приведены в табл. и на фотографиях (рис. 4 – 5).

На фотографиях (рис. 4, поз. 1) показана визуализационная картина течения в модели ПСУЗВ, полученная с помощью поляризационного интерферометра при давлении на входе $P_0 = 0,8$ МПа. Варианты последовательной цифровой обработки кадров [12] показаны на рис. 4 (поз. 2 – 4).

Таблица

Режимы испытаний при визуализации картины течения

Номер испытаний	Номер пуска видеокамеры	Длительность съемки, с	Давление газа p_0 на входе в модель, МПа	Температура торможения, T_0 , К
1	101020.06	36	0,8	280
2	101020.08	48	0,8	290

На рис. 5 для сравнения показаны визуализационные картины течения в модели ПСУЗВ, полученные различными методами.

При рассмотрении картин визуализации рис. 5а и рис. 5б следует учитывать следующее.

Принцип получения интерференционной картины (рис. 5а) описан в работе [12]. Ребра клиньев обеих призм параллельны между собой, азимуты пропускания поляризаторов составляют углы $\pm 45^\circ$ с ребрами клиньев.

Действие призм основано на том, что вследствие оптической анизотропии кристаллического материала падающий луч разделяется на два луча с взаимно перпендикулярными азимутами поляризации, причем лучи отклоняются в разные стороны. Поляризатор обеспечивает когерентность (способность к интерференции) обоих лучей, а также примерное равенство их интенсивностей.

Таким образом, в сдвиговом интерферометре (настроенном на «полосы бесконечной ширины») происходит интерференция идентичных волновых поверхностей, одинаково искаженных исследуемым объектом, но находящихся рядом по отношению друг к другу.

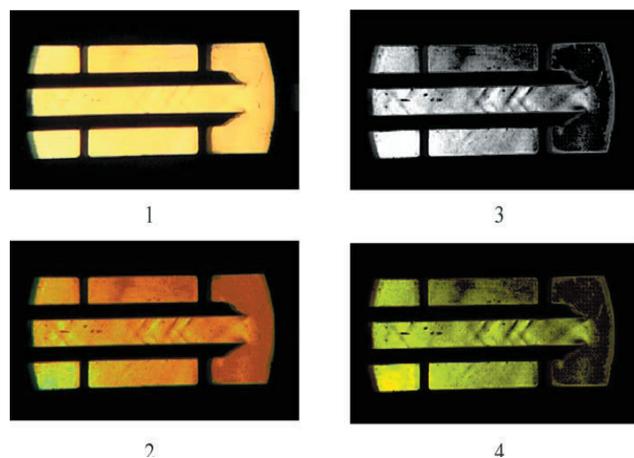


Рис. 4. Пример последовательной цифровой обработки кадров видеосъемки интерферограммы, полученной на поляризационном интерферометре ($P_0 = 0,8$ МПа): 1- захваченный необработанный кадр; 2 ... 3 - обработанные кадры видеосъемки

Принцип создания картины, полученной на приборе Теплера (рис. 5б) [1] состоит в «срезании» отклоненных неоднородностью лучей, установленным

в фокальной плоскости ножом Фуко. В результате этого происходит изменение освещенности, пропорциональное градиенту плотности в исследуемой области перпендикулярно кромке ножа.

Анализ рис. 5 показывает корреляцию визуализационных картин полученных на интерферометре и на приборе Теплера. Вместе с тем указанные результаты визуализации имеют свои особенности, приводящие к повышению информативности экспериментальных результатов.

При этом изображение картины визуализации в виде полос бесконечной ширины представит собой двумерную функцию яркости в пространственных координатах.

Сравнивая области выделения I и II на снимках, полученных различными методами можно получить дополнительную информацию о структуре течения в каналах плоской модели.

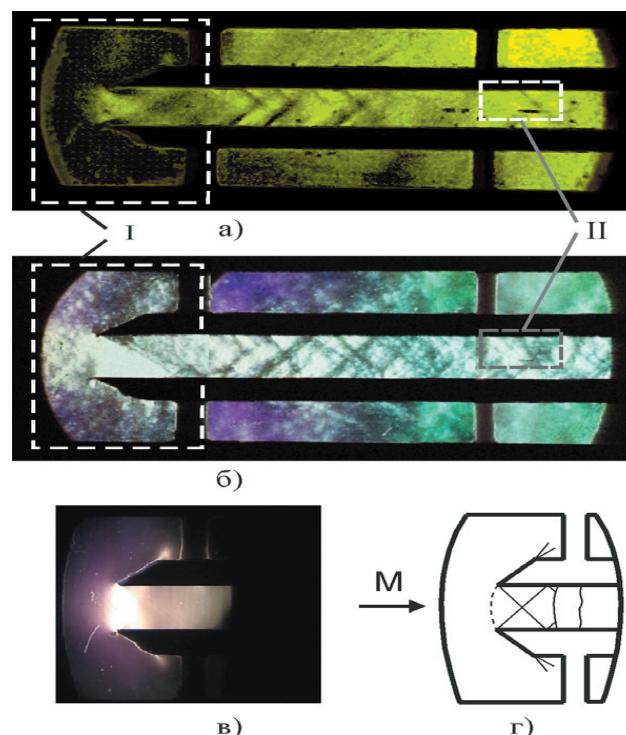


Рис. 5. Визуализационные картины, полученные различными методами при $P_0 = 0,8$ МПа: а) поляризационный интерферометр; б) метод Теплера (искровая экспозиция, длительность вспышки 10 мкс); в) метод Теплера (съемка на видеокамеру, выдержка 1/25 с)

3. Выводы

На основе теневого прибора ИАБ-451 собран и опробован в режиме «бесконечно широкой полосы» поляризационный интерферометр с двоякопреломляющими призмами Волластона.

Доработаны методы диагностирования параметров газодинамических процессов в плоской модели с разной конфигурацией внутренних каналов. Использован метод цифровой обработки визуализационных картин [12], полученных на поляризационном интерферометре.

Проведена визуализация в модели ПСУЗВ и сравнение полученных различными теневыми методами визуализационных картин. Обнаружены новые особенности структуры течения во входной

полости, каналах и камерах ПСУЗВ, которые могут указывать на источники акустических, шумовых возмущений и разработать меры по снижению их интенсивности.

Литература

1. Васильев, Л. А. Теневые методы [Текст] / Л. А. Васильев. – М. : Наука, 1968. – 400 с.
2. Баранников, С.Н. Применение оптического метода «цветной шпирен» для визуализации нестационарных вихревых систем в низкоскоростных воздушных системах [Текст] / С.Н. Баранников, С.В. Гувернюк, А.Ф. Зубков // Мат-лы XVIII школы-семинара «Аэродинамика летательных аппаратов». М.: И-во ЦАГИ, – 2007. – № 19.
3. Ершов, И.В. Цифровые методы цветной теневой визуализации газодинамических процессов [Текст] / И.В. Ершов, В.Н. Отменников, А.П. Федотов// Космонавтика и ракетостроение. – 2009. – № 3(56). – С. 37 - 47.
4. Чаплиц, А. Д. Визуализация газовых потоков во внутренних каналах [Текст] / А. Д. Чаплиц, А. И. Астапов. – Днепропетровск : НАН Украины и НКА Украины, Институт технической механики, 2007. – 209с.
5. Пат. на корисну модель 64473 Україна, МПК G 01 M 9/00. Спосіб візуалізації картини обтікання поверхні газовим потоком [Текст] / Чаплиць О.Д., - 201104484; заявл. 08.04.11; опубл. 10.11.11, Бюл. № 21. – 5 с.
6. Визуализация картины течения газа в полости прибора снижения уровня звука выстрела / Коновалов Н. А., Пилипенко О. В., Скорик А. Д., Стрельников Г.А., Михайлов С.П., Коваленко В.И., Чаплиц А. Д., Астапов А.И. // Электронное издание на 1 CD-R (032110166) «Оптические методы исследования потоков: XI Международная научно-техническая конференция, Москва, 27 - 30 июня 2011 г.: труды конференции». – М.: Издательский дом МЭИ, 2011, – №66.
7. Комиссарук, В.А. Опыт применения дифракционного и поляризационного интерферометров в баллистическом эксперименте [Текст] / В.А. Комиссарук, Н. П. Менде // Оптические методы исследований в баллистическом эксперименте. – Л.: Наука.– 1979.– С.91-112.
8. Менде, Н. П. Наблюдение околодульных процессов [Текст] / Н. П. Менде // Физико-газодинамические баллистические исследования. – Л.: Наука.– 1980.– С.225-231.
9. Исследование течения в плоской модели глушителя звука выстрела стрелкового оружия с применением методов визуализации / Коновалов Н. А., Астапов А.И., Пилипенко О. В., Поляков Г. А., Скорик А. Д., Тынына С. В., Чаплиц А. Д. // Техническая механика.– Днепропетровск : ИТМ. – 2007. – №2. – С.137–146.
10. Альбом сверхзвуковых течений [Текст] / Составители и редакторы П.И. Ковалев и Н.П. Менде. – И - во Санкт-Петербургского Государственного Политехнического университета, 2011, – 250 с.
11. Альбом течений жидкости и газа: Пер. англ. [Текст] / Сост. М. Ван-Дайк. – М. : Мир, 1986. – 184 с.
12. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. - Москва: Техносфера, 2005. - 1072 с.
13. Vasil'ev, L. A. Shadow methods [Text] / L. A. Vasil'ev. – М. : Nauka, 1968. - 400 с.
14. Barannikov, S.N. Application of optical method of «coloured shliren» for visualization of the non-stationary vortical systems in the low-speed air systems [Text] / S.N. Barannikov, S.V. Guvernyuk, A.F. Zubkov // Materials of the XVIII school-seminar are «Aerodynamics of aircrafts». М.: Publishing TSAGI, – 2007. – № 19.
15. Ershov, I.V. Digital methods of the coloured shadow visualization of gas-dynamic processes [Text] / I.V. Ershov, V.N. Otmennicov, A.P. Fedotov// Cosmonautics and rocket production. – 2009. – № 3(56). - С. 37 - 47.
16. Chaplits A. D. Visualization of Gas Flows Through Internal Channels (experimental researches methods and results) / A. D. Chaplits, A. I. Astapov - Dnepropetrovsk: NAS of Ukraine and NSA of Ukraine, Institute of the Technical Mechanics, 2007. – 210 pp.
17. Patent on an useful model 64473 Ukraine, МПК G 01 M 9/00. Method of visualization of picture of flowing around of surface by a gas stream [Text] / Chaplits A. D., - 201104484; declared. 08.04.11; Publ. 10.11.11, Bulletin. № 21. – 5 с.
18. Research of flow of gas in the devices of decline of sound of shot of small-arms the method of visualization [Text]/ Konovalov N. A., Pilipenko O. V., Skorik A. D., Strelnikov G.A., Mikhailov S.P., Kovalenko V.I., Chaplits A. D., Astapov A. I. // Labours of XI mezhdu-narodnoy conference are the «Optical methods of research of streams» (OMFI 2011). – М.: Publishing house MEI, 2011. – №66.
19. Komissaruk, V.A. Experience of application of diffraction and polarization interferometers is in a ballistic experiment [Text]/ V.A. Komissaruk, N. P. Mende // Optical methods of researches are in a ballistic experiment. – L.: Nauka.– 1979.– С.91-112.
20. Mende, N. P. Supervision of okolodul'nykh processes [Text] / N. P. Mende // Gas-dynamic ballistic researches. – L.: Nauka.– 1980.– С.225-231.
21. Research of flow in the flat model of muffler of sound you-arrow of small-arms with the use of methods of visualization / Konovalov N. A., Astapov A. I., Pilipenko O. V., Polyakov G. A., Skorik A. D., Tinyna S. V., Chaplits A. D. // Technical mechanics.– Dnepropetrovsk: ITM. – 2007. – №2. – С.137–146.
22. Album of supersonic flows [Text] / Compilers and editors P.I. Kovalev and N. P. Mende. – Publishing house of the Saint Petersburg State Polytechnic university, 2011, – 250 с.
23. Album of flows of liquid and gas: Translation from English. [Text] / Compiler. M. Van-Дак. – М. : Mir, 1986. – 184 с.
24. Gonsales, R. Digital processing of images [Text] / R. Gonsales, R. Vuds. – М.: Tekhnosferaa, 2005. - 1072 с.

Abstract

The article concerns the improvement and development of methods of shadow visualization of gas flows in interior channels, carried out using the polarization interferometer with a Wollaston prism, and the device IAB-451, which differs from the well-known by functional elementwise belonging. The lighting unit of the interferometer (with Polaroid of 45 degree) was fastened at position of lamp and reception unit of the interferometer (with the analyzer of 135 degree) was attached to the place of Foucault knife of the collimator IAB-451. In this study the interferometer was used as a disperser and tuned to the "infinitely wide strip" of observation while using "wide" light source. It enables the definition of visualization image due to interference of the ordinary and extraordinary rays, for flows with detachment and reattachment and the gradients of pressures and temperatures. The research results can be used to study the flow of items with gases under different conditions

Keywords: visualization, gas flow, transparent model, polarization interferometer, image processing

Розглянуто контакт двох шорстких поверхонь, профілограми яких моделюються деякими стаціонарними випадковими процесами. Наведено методіку визначення зближення поверхонь під навантаженням, навантаження на мікронерівність

Ключові слова: шорсткість, випадковий процес, функція зближення, навантаження на мікронерівність

Рассмотрен контакт двух шероховатых поверхностей, профилограмма которых моделируется некоторыми стационарными случайными процессами. Приведена методика определения функции сближения поверхностей, нагрузки на микронеровность

Ключевые слова: шероховатость, случайный процесс, функция сближения, нагрузка на микронеровность

УДК 621.401.7

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНТАКТА ТРУЩИХСЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

О.В. Акимов

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
Кафедра «Литейное производство»
Национальный технический университет «Харьковский
политехнический институт»
ул. Фрунзе, 21, Харьков, Украина, 61002
Контактный тел.: (057) 707-68-54

В.Т. Акимов

Кандидат технических наук, доцент
Украинская инженерно-педагогическая академия
ул. Университетская, 16, г. Харьков, Украина, 61003
Контактный тел.: (057) 737-90-09

1. Введение

Проблема взаимодействия двух шероховатых поверхностей является традиционной и актуальной в настоящее время. Известны различные детерминированные модели контакта реальных поверхностей (стержневые, эллипсоидные и др. [1-2]). Вместе с тем экспериментальные данные указывают на существенно стохастическую природу микрорельефа [3, 4, 7]. В связи с этим в данной работе предпринята попытка рассмотреть контакт двух реальных поверхностей, профилограммы которых моделируются некоторыми стационарными случайными процессами.

Введем следующие допущения:

- не учитывается динамика профилообразования;

- все действующие нагрузки, в том числе и сила трения, учитываются в совокупности косвенно через результирующее сближение средних линий;

- рассматривается лишь одномерная модель поверхностей, приближенно справедливая для узкой, порядка среднего периода профилограммы, полосы в окрестности произвольного сечения трассы измерения;

- при расшифровке сил упругого взаимодействия единичный контакт рассматривается как задача Герца.

Предпринятое рассмотрение представляется полезным с точки зрения путей уточнения реальной картины контакта, аналитической структуры функции сближения и прочее.