



УДК 535.8

Шашкова И.А.

*Московский энергетический институт (технический университет), Россия,
111250, Москва, Красноказарменная ул., 14, E-mail: ShashkovaIA@mpei.ru*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ТЕНЕВОГО ФОНОВОГО МЕТОДА ЧЕРЕЗ ПЛЕНКУ ЖИДКОСТИ

Рассматривается применение теневого фонового метода (ТФМ) для получения параметров, характеризующих течение пленки жидкости по наклонной поверхности. Приведены алгоритм и созданная программа математического моделирования картин ТФМ для исследуемого объекта. Рассмотрены основные возможности программы, приведены результаты моделирования при различных параметрах течения жидкости.

ТЕНЕВОЙ ФОНОВЫЙ МЕТОД, ПЛЕНКА ЖИДКОСТИ, НАКЛОННАЯ ПОВЕРХНОСТЬ

ВВЕДЕНИЕ

Пленочное течение жидкости находит широкое применение в технологиях химической промышленности, энергетике и других отраслях. Эффективность аппаратов, разрабатываемых на основе этого физического явления, связана с изучением характерных для него процессов. Основным источником информации о параметрах течения пленки жидкости являются экспериментальные исследования.

В работе рассматривается применение одного из современных оптических методов исследования потоков – теневого фонового метода (ТФМ),– для получения параметров, характеризующих течение пленки жидкости по наклонной поверхности.

Малое число элементов, необходимых для реализации ТФМ, а также использование современных компьютерных технологий являются несомненными преимуществами данного метода по сравнению с другими оптическими методами исследования потоков.

Целью работы является моделирование ТФМ-картин для течений жидкости с различными параметрами, а также изучение влияния профиля показателя преломления пленки жидкости на результаты моделирования.

ОСНОВЫ ТЕНЕВОГО ФОНОВОГО МЕТОДА

Необходимые элементы для проведения эксперимента на основе ТФМ – фоновый экран и видеокамера, в некоторых случаях достаточно одной видеокамеры. Помимо небольшого количества экспериментального оборудования достоинством метода является отсутствие взаимодействия исследуемой среды с экспериментальной установкой, что не приводит к изменениям параметров среды.

Данные о характеристиках исследуемого объекта получают при помощи обработки искаженного изображения структурированного фонового экрана, которое вызвано наличием малых градиентов показателя преломления.

Оптическая схема ТФМ приведена на рис. 1. Изображение структурированного фонового экрана 1 с нанесенным на него рисунком в виде точек или линий формируется с помощью объектива 3 на ПЗС матрице 4. Между экраном и объективом помещен оптически прозрачный поток 2, характеризующийся показателем преломления, зависящим от координат.

В данном методе для визуализации потока, через который распространяется свет, используется явление искажения изображения экрана. Так лучи, исходящие из точки A экрана, проходят мимо потока и формируют идеальное изображение A' в плоскости фотоприемника. Лучи, исходящие из точки B , проходят через край потока и формируют смещенное изображение B' . Лучи, исходящие из точки C , проходят через середину потока и формируют расфокусированное изображение C' . Смещение изображения точки B' относительно первоначального положения B обусловлено наличием градиента показателя преломления исследуемого потока.

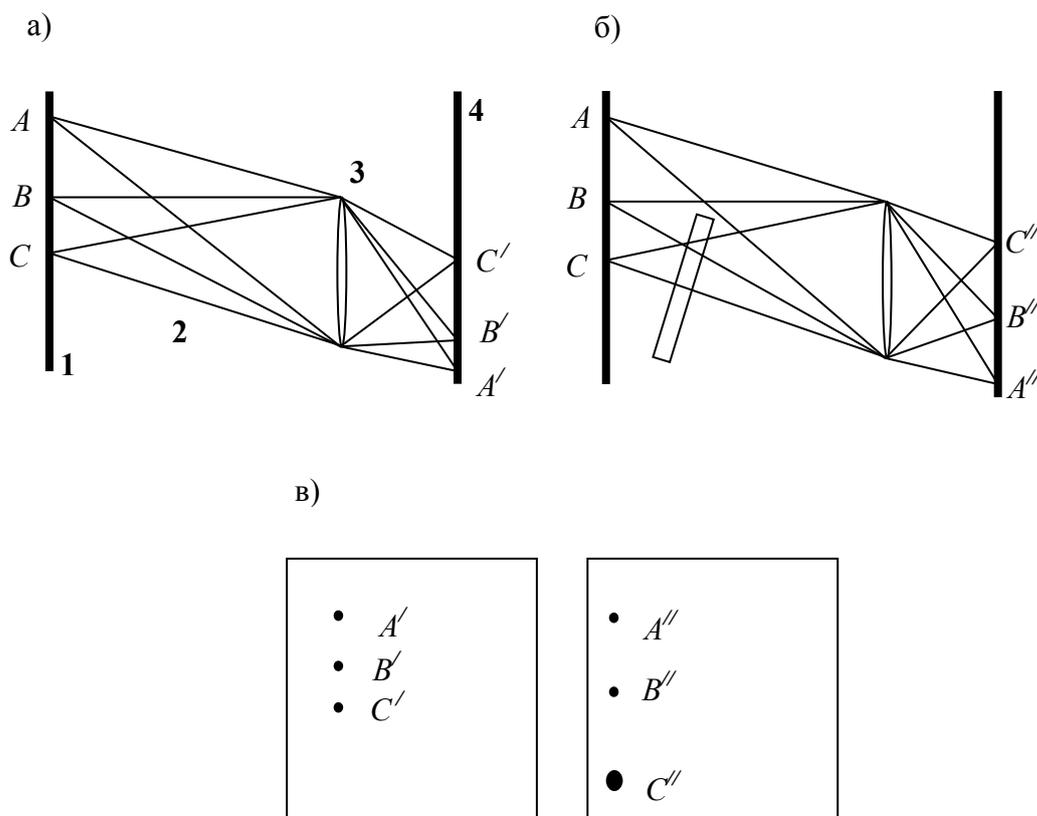


Рис. 1. Схема ТФМ: а – при отсутствии оптической неоднородности; б – при наличии неоднородности; в – изображения точек A , B , C на экране в отсутствии и при наличии неоднородности [2]

Визуализация картин теневого фонового метода осуществляется на основе получения двух снимков фонового экрана, с достаточным оптическим контрастом и структурой. Одно изображение регистрируют при отсутствии возмущений в канале передачи, другое – при наличии неоднородности в оптическом канале. Информацию об исследуемом объекте получают из анализа различий между снимками. Смещения деталей изображения, пропорциональны градиентам поля плотности в канале передачи в том же направлении. Результат воздействия среды между фоновым экраном и устройством регистрации изображения может быть описан как отклонение световых лучей от прямолинейного распространения.

Наиболее общим способом представления изображения $I(x, y)$ является свертка между функцией фонового экрана $B(x', y')$ и функцией пропускания исследуемой среды $T(\eta, \xi)$:

$$I(x, y) = B(x', y') \cdot T(\eta, \xi) \quad (1)$$

Для получения характеристик среды, через которую распространяется свет, нужно использовать операцию, обратную свертке, результат которой позволяет описать оптические свойства среды, если известны функции фонового экрана и его изображения. В результате этой обработки получается двумерная картина градиента показателя преломления среды [2].

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАРТИН ТФМ ДЛЯ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ ПО НАКЛОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Одной из важных задач в изучении возможностей применения теневого фонового метода для исследования течения пленки жидкости является верная интерпретация результатов обработки экспериментальных данных. Для оценки влияния параметров исследуемого процесса на результаты эксперимента проведено моделирование картин метода, получаемых при пленочном течении жидкости по наклонной поверхности.

Разработанный алгоритм моделирования состоит из следующих компонент: блока входных данных, содержащего модель изображения фонового экрана; блока моделирования изображений ТФМ для исследуемого течения жидкости с параметрами этого течения и блока выходных данных, состоящего из смоделированных картин ТФМ. В алгоритме не соблюдается условие полного разделения исходных данных с блоком моделирования, поэтому для получения математической модели картины ТФМ с заданными параметрами течения жидкости создается отдельная программа. Преимущества такого подхода к реализации программы заключаются в том, что при похожих результатах моделирования упрощается возможность сравнения влияний различных параметров течения на эти результаты.

На рис. 2 представлен фрагмент программы моделирования картин ТФМ для течения жидкости с переменной толщиной по наклонной поверхности.

```

Sm2(Fon, Ysm11, n, m, x1) :=
  for i ∈ 0..m + max(Ysm11)
    for j ∈ 0..n
      Fon1i,j ← 255
  for i ∈ 0..m
    j ← x1
    t ← 0
    while (x1 ≤ j < x1 + rows(Ysm11)) ∧ (0 ≤ t ≤ rows(Ysm11) - 1)
      Fon1i+Ysm11t,j ← Foni,j
      j ← j + 1
      t ← t + 1
  for i ∈ 0..m
    for j ∈ 0..n
      Fon1i,j ← Foni,j if (x1 > j) ∨ (j ≥ x1 + rows(Ysm11))
  Fon1
  
```

Рис. 2. Фрагмент программы моделирования картин ТФМ

Данный фрагмент состоит из трех циклов: генерации матрицы «чистого листа» $Fon1$; заполнения полученной матрицы в области локализации течения жидкости с переменной

толщиной, характеризующейся значениями вектор-столбца Y_{sm11} ; заполнения оставшегося пространства матрицы $Fon1$ значениями матрицы модели фонового экрана Fon из блока входных данных.

Вектор-столбец Y_{sm11} содержит значения, пропорциональные величинам смещения элементов фона, вызванным наличием потока жидкости неоднородной толщины. При поиске значений Y_{sm11} применяется математическая модель смещения элементов изображений, построенная по законам геометрической оптики. Учитываются такие параметры оптической системы, как угол наклона к горизонтали, показатель преломления и толщина стеклянной пластинки, а также значения толщины и показателя преломления слоя жидкости на поверхности пластинки.

Созданная программа позволяет получить модели изображений фонового экрана для потоков жидкости переменной толщины, с различным формами края и неоднородным показателем преломления.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

На рис. 3 представлены результаты моделирования изображения фонового экрана для течения жидкости с симметричными краями.

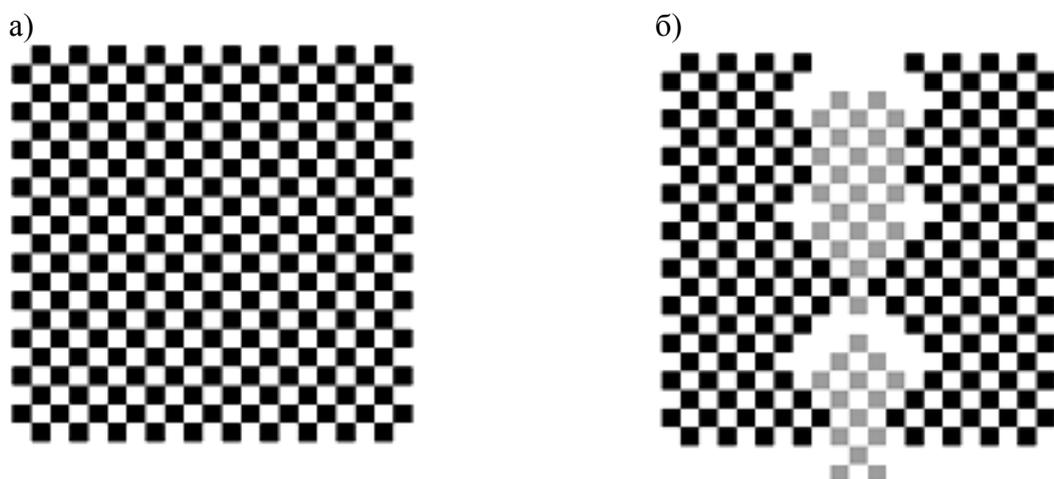


Рис. 3. Результаты моделирования для течения жидкости с симметричными краями:
а – в отсутствие потока; б – при наличии потока

На рис. 4 представлены результаты моделирования для течения жидкости с постоянной шириной.

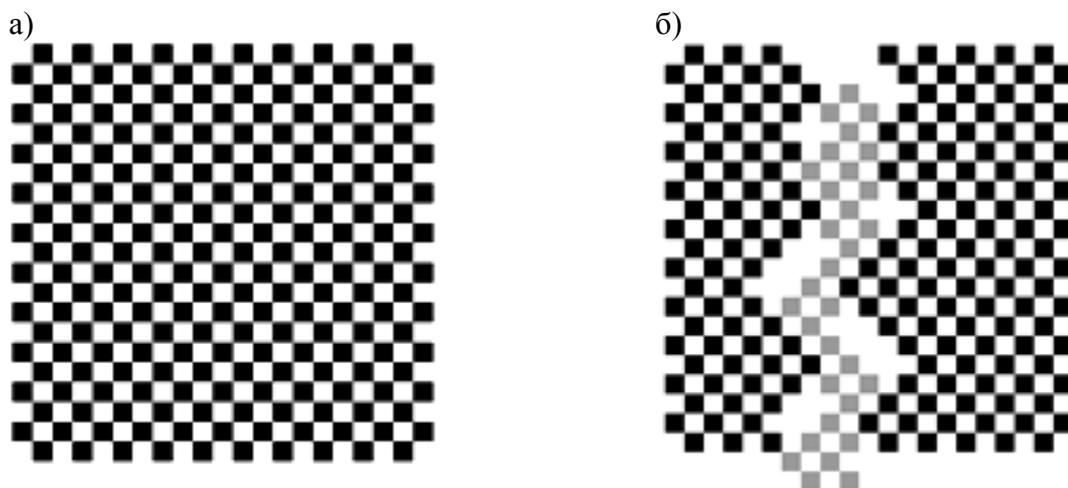


Рис. 4. Результаты моделирования для течения жидкости с постоянной шириной:
а – в отсутствие потока; б – при наличии потока

На рис. 5 представлены результаты моделирования для течения этанола с заданным изменением толщины.

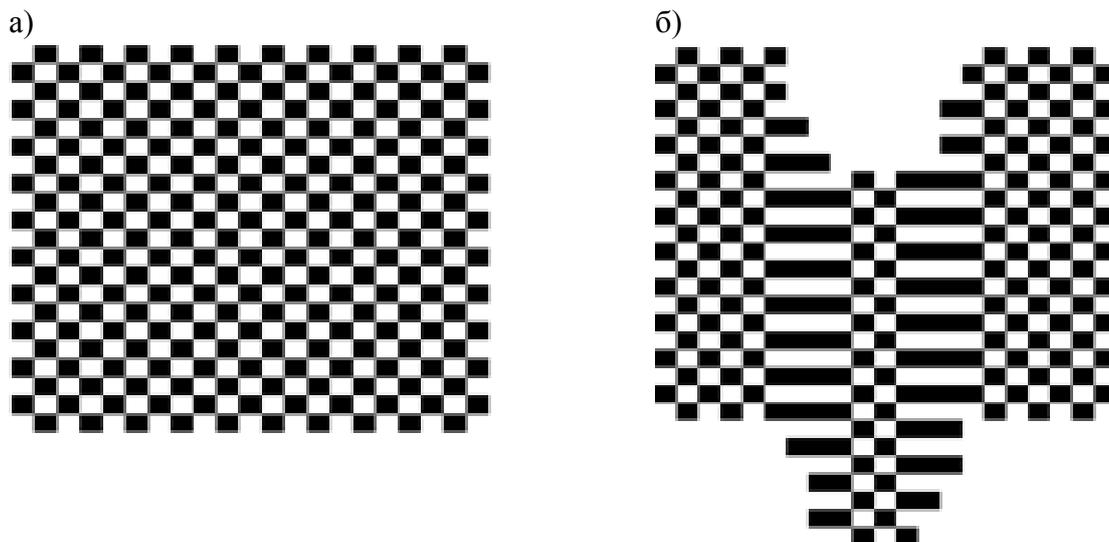


Рис. 5. Результаты моделирования для течения жидкости с заданным изменением толщины:
а – в отсутствие потока; б – при наличии потока

На рис. 6 представлены результаты моделирования для течения этанола с заданным профилем показателя преломления.

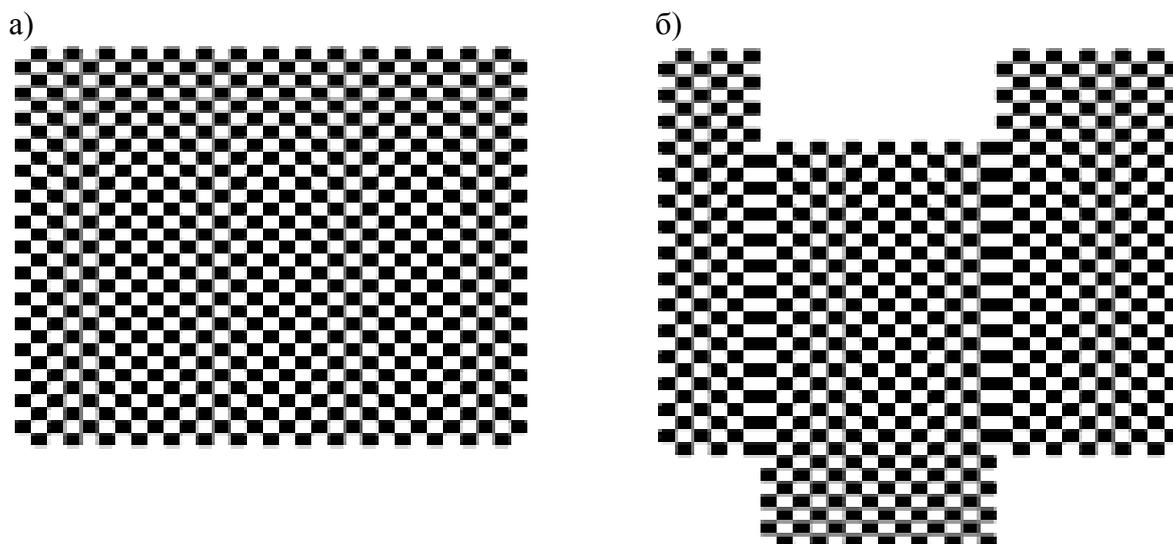


Рис. 6. Результаты моделирования для течения этанола с заданным профилем показателя преломления:
а – в отсутствие потока; б – при наличии потока

В результате моделирования изображений фона для течения этанола переменной толщины (рис. 5) получаем значительное (от 1 до 11 пикселей) различие между смещениями элементов изображения экрана, соответствующими малым изменениям толщины течения (от 0,1 мм до 1 мм). Однако при моделировании аналогичных изображений для течения этанола с неоднородным показателем преломления, зависящим от температуры жидкости (при колебаниях температуры от 15°C до 21°C) различие между смещениями элементов изображения экрана отсутствует. Таким образом, изменение температуры в заданных пределах не влияет на полученные результаты, и смещения элементов изображения фонового экрана обусловлены изменением толщины жидкости на поверхности стеклянной пластинки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены основы теневого фонового метода. Главные требования для реализации метода – наличие видеокамеры и фонового экрана (в некоторых случаях применение фонового экрана не требуется). Достоинствами ТФМ являются малое количество экспериментального оборудования, бесконтактность и применение современных компьютерных технологий.

Разработан алгоритм и создана программа математического моделирования изображений фонового экрана для течений жидкости с различными параметрами.

Из результатов моделирования картин ТФМ для течения этанола переменной толщины и неоднородного показателя преломления следует, что величины смещений изображения фонового экрана в заданном диапазоне температур пропорциональны толщине слоя этанола на поверхности стеклянной пластины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Васильев Л.А.** Теневые методы. М., «Наука», 1968. 400с.
2. **Толкачев А.В., Ринкевичюс Б.С., Скорнякова Н.М., Попова Е.М., Маслов В.П.** Применение теневого фонового метода для визуализации газовых струй // Тезисы научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы высокоскоростных течений». – Жуковский. 2004.