

## СЕКЦИЯ «ГИДРОГАЗОДИНАМИКА»

УДК 532.517.4

Д.С.Бровин (6 курс, каф. ГАД), А.А.Ловцюс, к.т.н.

### ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ТЕЧЕНИЯ И ТЕПЛООБМЕНА В МОДЕЛИ РЕАКТОРА ДЛЯ РОСТА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

Для оптимизации режима роста поликристаллического кремния с целью повышения эффективности процесса и снижения стоимости получаемого продукта необходимо правильно рассчитывать течение газа и теплообмен в реакторе, который представляет собой цилиндрический контейнер, накрытый сферическим куполом (рис. 1). Исходные вещества (смесь кремнийсодержащих газов) подаются в реактор струей, которая бьет из отверстия в его днище. Струя является турбулентной, так как число Рейнольдса, рассчитанное по диаметру входного отверстия и среднерасходной скорости ( $Re_d = Wd/\nu$ ), составляет примерно  $7 \times 10^5$ . Также в основании реактора имеется отверстие для выхода прореагировавших газов. Рост поликристаллического кремния происходит на поверхности кремниевых стержней, которые нагреваются до высокой температуры электрическим током. Перепад температур между холодными стенками и нагретыми стержнями порядка 1000 К. Следовательно, течение в реакторе определяется как действием круглой турбулентной струи, так и свободно-конвективными явлениями.

Для расчетов использовался коммерческий код CFD-ACE. На данном этапе работы проводились расчеты с использованием различных моделей турбулентности: встроенная в коммерческий пакет стандартная высокорейнольдсовая  $k-\epsilon$  модель, двухслойная модель [1], которая была реализована в виде пользовательского модуля к пакету, а также версия модели [1] с модификацией Като-Лаундера члена, отвечающего за генерацию турбулентности. Расчеты проводились как с постоянным значением турбулентного числа Прандтля ( $Pr_t = 2$  или  $Pr_t = 0.9$ ), так и с использованием зависимости, предложенной в работе [2]:

$$Pr_t = \frac{1}{\left[ 0.5882 + 0.228 \cdot Re_t - 0.0441 \cdot Re_t^2 \cdot \left( 1 - e^{-\frac{5.165}{Re_t}} \right) \right]}$$

Результаты расчетов сравнивались с экспериментальными данными, полученными на модельном реакторе, который является уменьшенной копией промышленного реактора, построенной с соблюдением равенства чисел подобия: числа Грасгофа и числа Рейнольдса. Влияние модели турбулентности оценивалось, главным образом, по величине тепловых потоков на поверхности стержней, так как эта характеристика существенно влияет на параметры роста поликристаллического кремния. Экспериментальные данные были получены для двух режимов, отличающихся друг от друга температурой стержней, скоростью струи и диаметром входного отверстия. Датчики тепловых потоков располагались на четырех вертикальных линиях, идущих вдоль поверхности стержня (см. рис. 2). На рис. 3 показано распределение тепловых потоков вдоль линии 1 для первого режима. Результаты, полученные с использованием двухслойной модели с модификацией Като-Лаундера, лучше других соответствует эксперименту. На рис. 4 представлено распределение тепловых

потоков для второго режима, рассчитанное с помощью этой модели с использованием различных подходов к определению турбулентного числа Прандтля.

Таким образом, наилучшее согласование с экспериментом показала двухслойная модель с поправкой Като-Лаундера в совокупности с заданием переменного турбулентного числа Прандтля. Такая модель будет использоваться в дальнейших расчетах, направленных на оптимизацию условий роста поликристаллического кремния в реакторе.

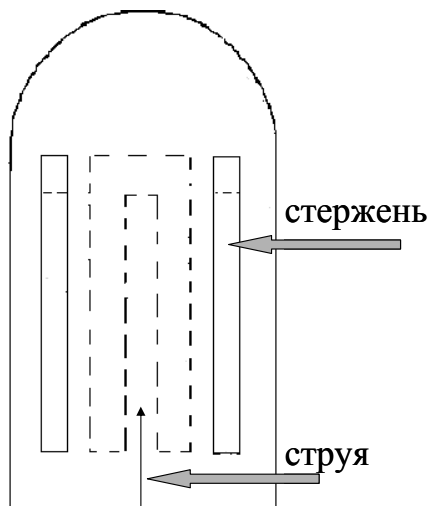


Рис. 1. Схема реактора.

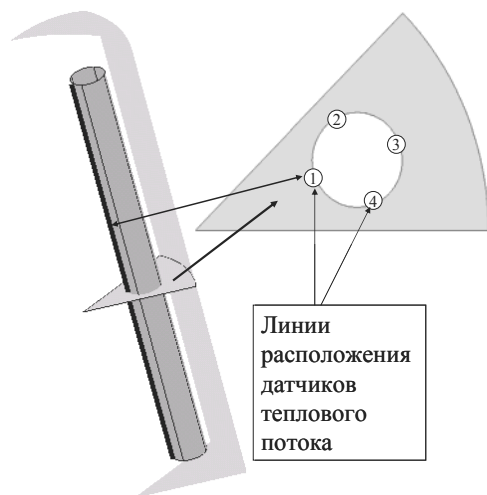


Рис. 2. Положение линий, на которых измерялись тепловые потоки.

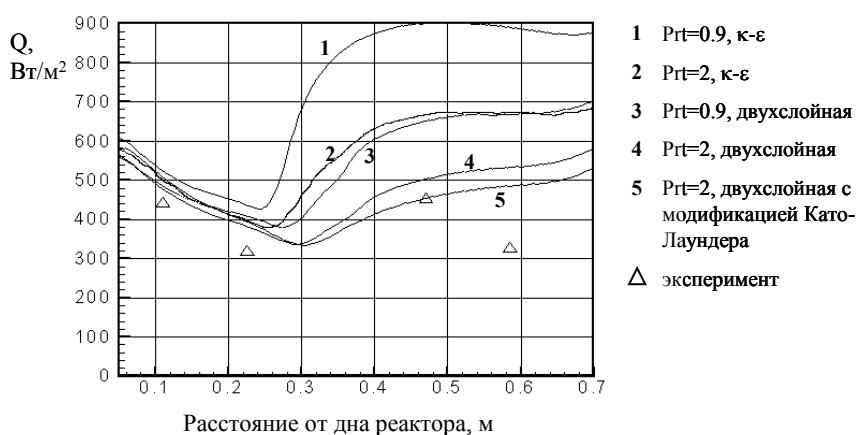


Рис. 3. Тепловые потоки вдоль линии 1 (первый режим).

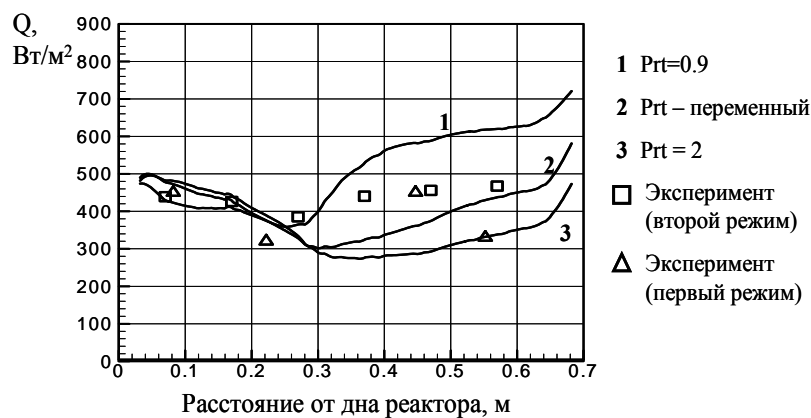


Рис. 4. Тепловые потоки вдоль линии 1 (второй режим).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Chen H.C., Patel V.C. AIAA Journal, vol. 26, Issue 6, 1988, pp. 641-648.
2. Wilke C.R. Chem. Eng. Progr., 1950, v.46, No.2, pp. 95-104.