

ОПТИМАЛЬНАЯ ФОРМА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ЗМЕЕВИДНЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ В МИКРОФЛЮИДНЫХ ЧИПАХ

А.С. Якимов, В.С. Никифорова, И.А. Денисов, К.А. Лукьяненко, П.И. Белобров

Институт фундаментальной биологии и биотехнологии Сибирского федерального университета, 660041, г.Красноярск, пр. Свободный, 79.

Молодежная открытая лаборатория перспективных исследований и технологий, 660041, г.Красноярск, пр. Свободный, 82/6.

E-mail: asyakimov@gmail.com, violetta.nikiforova@gmail.com, d.ivan.krsk@gmail.com, kirill.lukyanenko@gmail.com, peter.belobrov@gmail.com

В микрофлюидной аналитической технике потоки жидкости преимущественно ламинарные, поэтому перемешивание таких потоков проблематично, а использование эффективных активных смесителей нежелательно, так как они своим воздействием могут повреждать биологические жидкости [1]. Применяют пассивные смесители, в частности на основе эффектов хаотической адвекции – вихри Дина [2] (в 2D-сепарирующих смесителях) и ламинарная рециркуляция [3] (в зигзагообразных смесителях).

Была предложена и исследована топология прямоугольного змеевидного смесителя (Рис. 1). В углах этого смесителя наблюдается ламинарная рециркуляция, а при определенной длине продольных частей и диаметра канала можно добиться образования вихрей Дина. Поэтому существует оптимальная форма этого смесителя, когда работают оба эффекта.

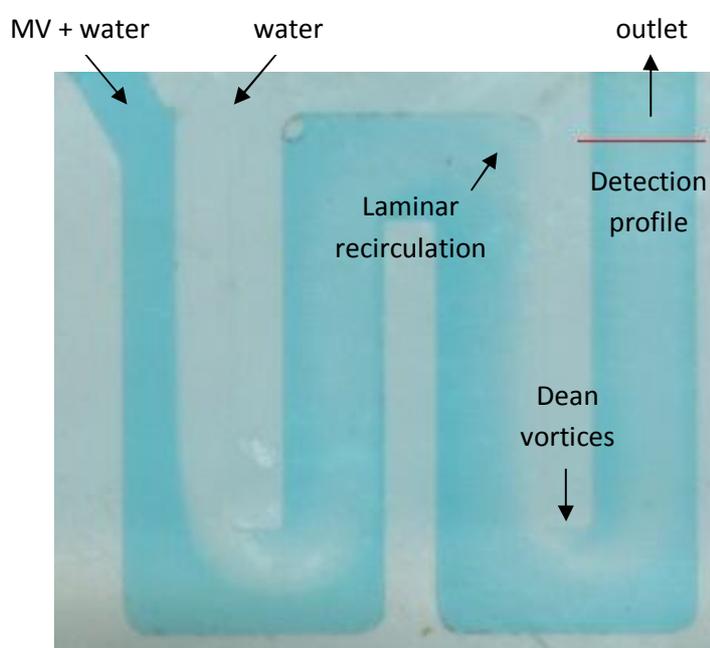


Рисунок 1. Прямоугольный змеевидный смеситель

Было изготовлено 90 смесителей с разными длинами продольных и поперечных частей (от 2 до 6,5 с шагом 0,5 мм и от 0,5 до 4,5 с шагом 0,5 соответственно). Характеристический диаметр капилляра $d_c = 0,33$ мм. В один входной канал подавалась дистиллированная вода под давлением 0,05 атм, в другой под тем же давлением – водный раствор метилвиолета. Данные с выходного канала снимались фотометрическим методом. В зависимости от среднего значения и среднеквадратического отклонения локальных относительных концентраций метилвиолета вдоль поперечного среза выходного канала делался вывод об эффективности смесителя (Рис. 2, Табл. 1).

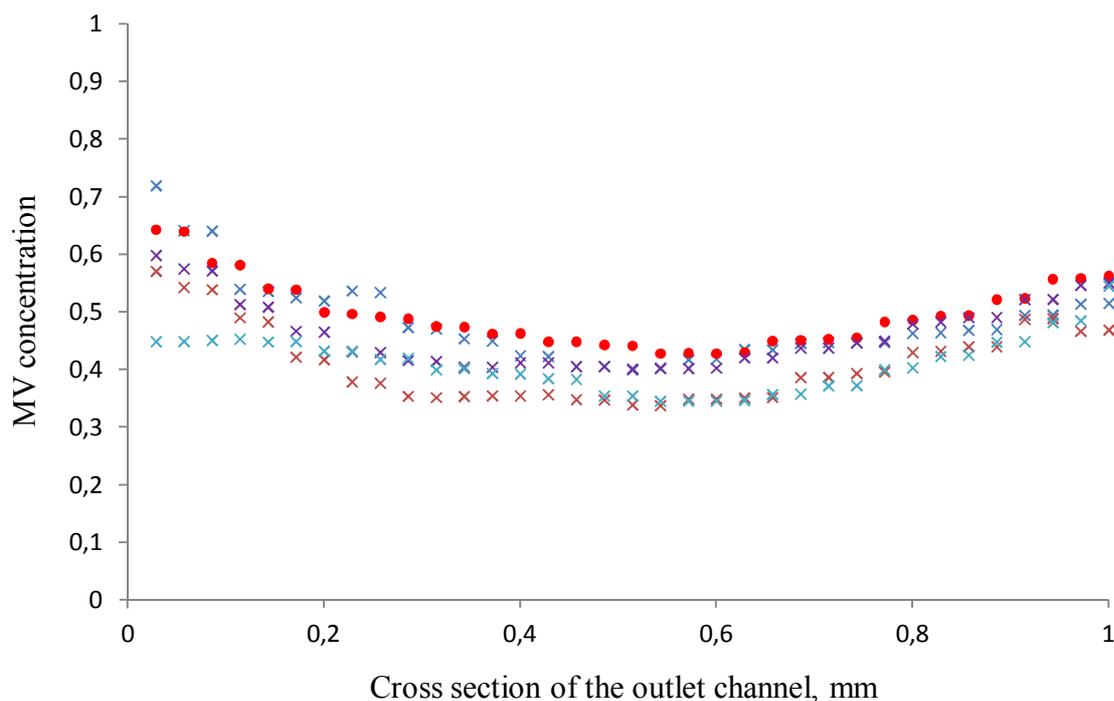


Рисунок 2. Распределение красителя в выходных каналах пяти наиболее эффективных смесителей

Было получено, что оптимальная конфигурация прямоугольного змеевидного смесителя должна содержать 3 разворота на 180° с поперечными частями 2,5 мм и продольными частями 4 мм. При этих параметрах он будет осуществлять перемешивание, обеспечивающее концентрацию на выходе $50 \pm 6\%$ от начальной. Так как указанные эффекты образуют вихри с не коллинеарными осями, то наблюдается синергетический эффект и оптимизированный прямоугольный змеевидный смеситель способен перемешивать потоки с числом Рейнольдса $Re \approx 1$.

Таблица 1. Результаты математической обработки данных о распределении красителя в выходных каналах

Части продольные×поперечные, мм	3×3	3,5×3	4×2,5	4,5×3	5×3,5
Среднее значение	0,48	0,41	0,50	0,46	0,41
Среднеквадратическое отклонение	0,18	0,15	0,11	0,12	0,08

1. Capretto L., Cheng W., Hill M., Zhang X. Micromixing Within Microfluidic Devices // Top Curr. Chem. 2011. V. 304. P. 27–68.

2 Jiang F., Drese K., Hardt S., Kupper M., Schonfeld F. Helical flows and chaotic mixing in curved micro channels // AIChE J. 2004. V. 50. P. 2297–2305.

3 Mengeaud V., Josserand J., Girault H. Mixing processes in a zigzag microchannel: finite element simulations and optical study // Anal Chem. 2002. V. 74. P. 4279–4286.