

НТС кафедры ХТОСА 24.11.2025

# Микрореакторные технологии и оборудование для контролируемого синтеза органических продуктов и наноразмерных частиц неорганических функциональных материалов



**Институт химии силикатов  
им. И.В. Гребенщикова**

филиал НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ - ИХС

Абиев Руфат Шовкетович, д.т.н., проф.,  
зав. кафедрой ОХБА СПбГТИ (ТУ),  
зав. лабораторией интенсификации процессов  
синтеза оксидных материалов ИХС РАН

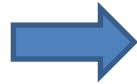
# Разработанные нами направления интенсификации жидкофазного синтеза наноразмерных и субмикронных частиц функциональных материалов

- Микрореакторы со сталкивающимися струями (MRFIJ)
  - Микрореакторы с пульсирующими сталкивающимися струями (MRPFIJ)
  - Микрореакторы с интенсивно закрученными потоками (MRISF-1, MRISF-2)
  - Микрореакторы с встречными интенсивно закрученными потоками (MRISF-CC-1, MRISF-CC-2)
  - Микрореакторы пульсационные проточного типа (MRPF)
  - Микрореакторы с двухфазными потоками различных модификаций (синтез в капле, MR-TP)
  - Проточные миниканальные автоклавы, в том числе с двухфазными потоками (MRA, MRA-TP)
- соосаждение при интенсивном микросмешении
- соосаждение в каплях
- гидро- и сольвотермальная обработка в потоке

# Концепция контролируемого синтеза наноразмерных частиц в микрореакторах

## Контролируемые параметры:

- Расход каждого из растворов реагентов
- Уровень диссипации вводимой энергии в зоне реакции
- Качество микросмешения
- Контроль pH и T в зоне реакции
- Время смешения  $\tau_{\text{mix}}$
- Возможность T = var, pH = var в разных зонах реактора



Микрореактор с интенсивным микросмешением\*



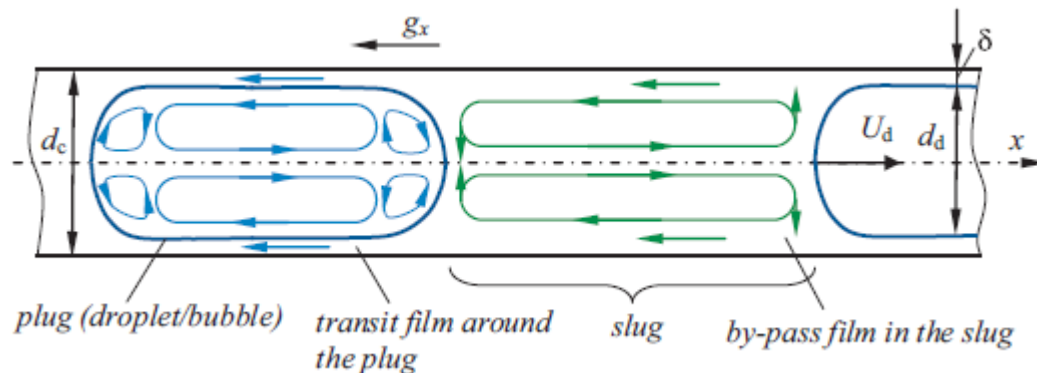
## Результирующие характеристики:

- Стехиометрическое соотношение ионов в продукте
  - Отсутствие примесных фаз
  - Синтез наночастиц с уменьшенными размерами
  - Высокая производительность
  - Непрерывный процесс
  - Переход на промышленный уровень
  - Конверсия до 99,999%
- Качество микросмешения в MRISF-1 от 50 до 250 раз выше, чем в аппарате с мешалкой
  - Производительность микрореактора 10 м<sup>3</sup>/сут (420 л/час)
  - Потребляемая мощность установки от 4 до 30 Вт

\*MRISF-1 один из разработанных нами типов микрореакторов

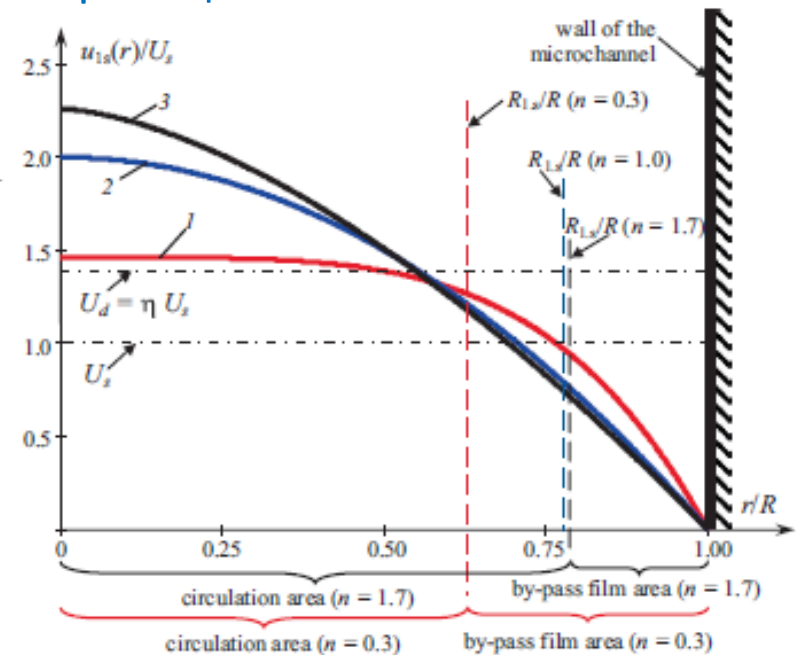
# Математическое моделирование гидродинамики двухфазных реагирующих потоков

Гидродинамика и массоперенос в двухфазных системах, в том числе с неньютоновской реологией – обеспечение благоприятных условий микросмешения для проведения химических реакций



$$\tau_1 = K_1 \left( \frac{\partial u_x}{\partial r} \right)^n$$

$$\tau_2 = K_2 \left( \frac{\partial u_x}{\partial r} \right)^m \quad u_{1s}(r) = \frac{3n+1}{n+1} U_s \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right]$$



Contents lists available at ScienceDirect

Chemical Engineering Science

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ces](http://www.elsevier.com/locate/ces)

Taylor vortex center, film thickness, velocity and frequency of circulations in slugs and plugs for non-Newtonian and Newtonian fluids in two-phase Taylor flow in microchannels

Rufat Sh. Abiev



Contents lists available at ScienceDirect

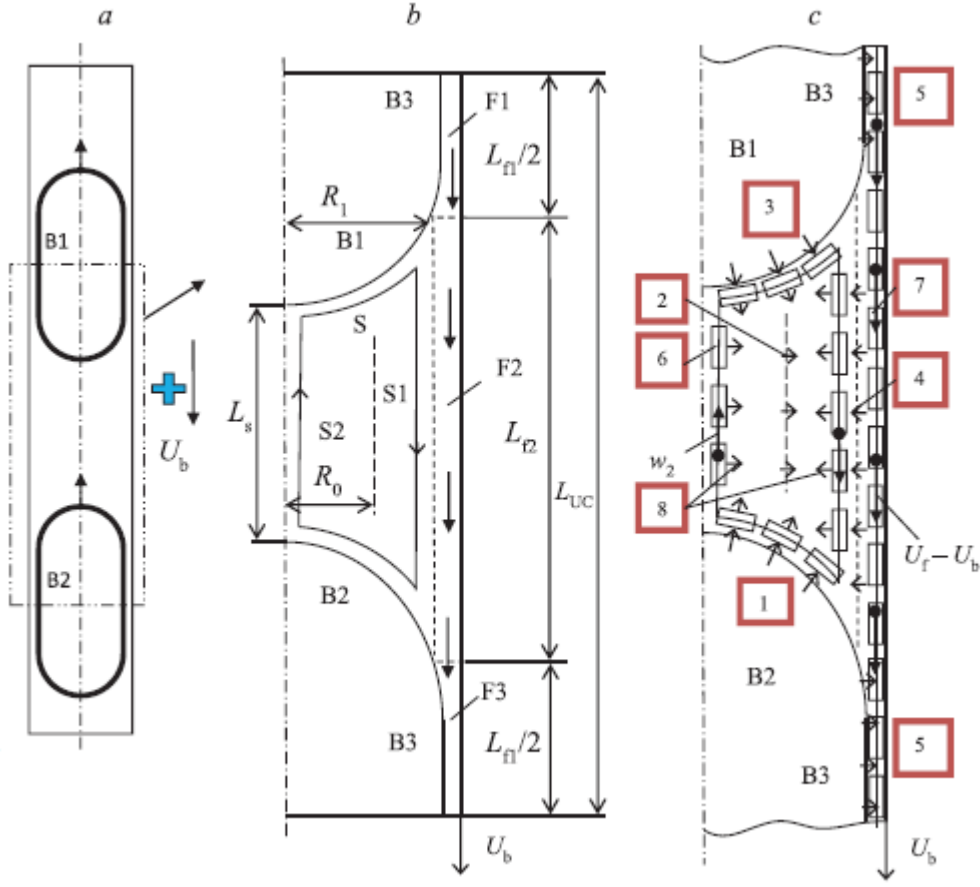
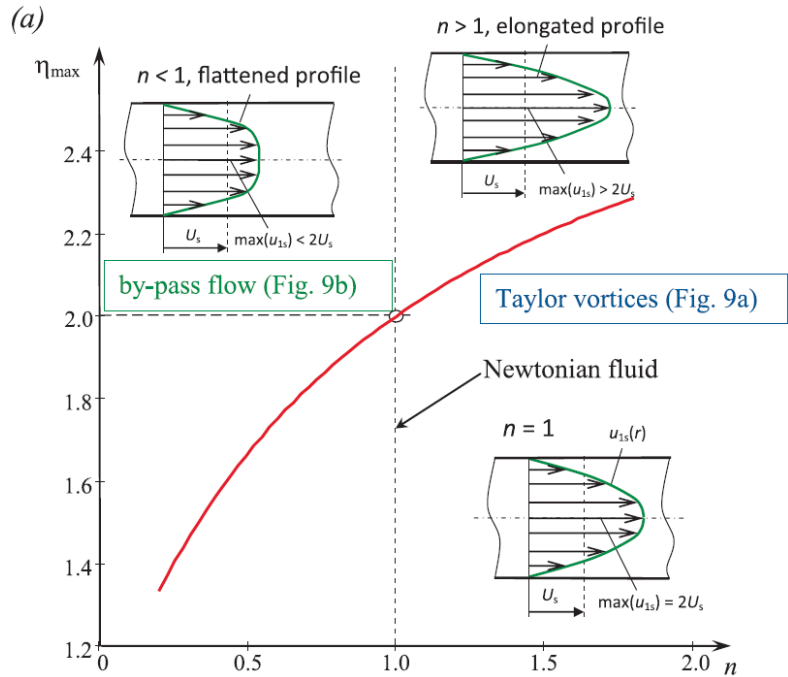
Chemical Engineering Science

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ces](http://www.elsevier.com/locate/ces)

Mathematical model of two-phase Taylor flow hydrodynamics for four combinations of non-Newtonian and Newtonian fluids in microchannels

Rufat Sh. Abiev

# Математическое моделирование массопереноса в микрореакторах с двухфазными средами



$$(k_{GL} a_{GL})_{ov} = \left( \frac{1}{k_{GL,dif.f1} a_{GL,dif.f1}} + \frac{1}{w_f a_{GL,conv.f}} + \frac{1}{k_{GL,dif.f2} a_{GL,dif.f2}} \right)^{-1}$$

$$+ \left( \frac{1}{k_{GL,dif.B1} a_{B1}} + \frac{1}{w_1 a_{GL,conv.S1}} \right)^{-1} + \left( \frac{1}{k_{GL,dif.B2} a_{B2}} + \frac{1}{w_2 a_{GL,conv.S2}} \right)^{-1}$$

# Безопасный микрореакторный синтез гетероциклических соединений – 1-метил-5-фенилтетразола

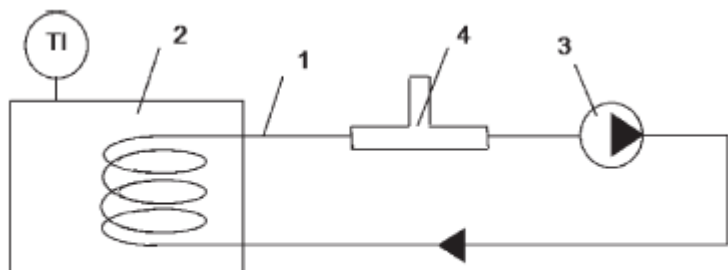


Fig. 2 – Scheme of microreactor: 1 – PTFE tube; 2 – thermostat; 3 – peristaltic pump; 4 – T-shaped element

Увеличение селективности, интенсивное микросмешение, возможность отказа от межфазного катализатора



Fig. 3 – Scheme of 5-phenyltetrazole methylation

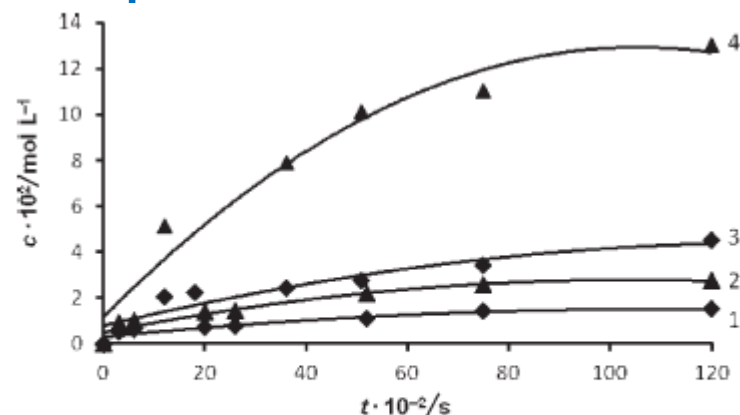
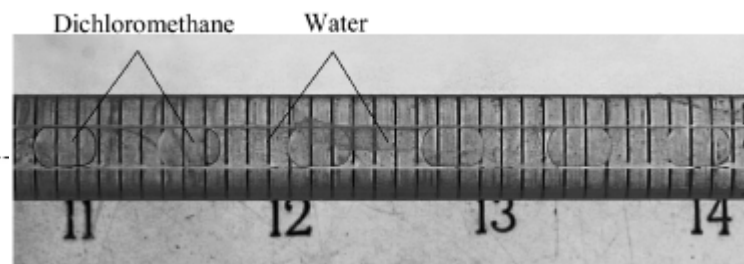
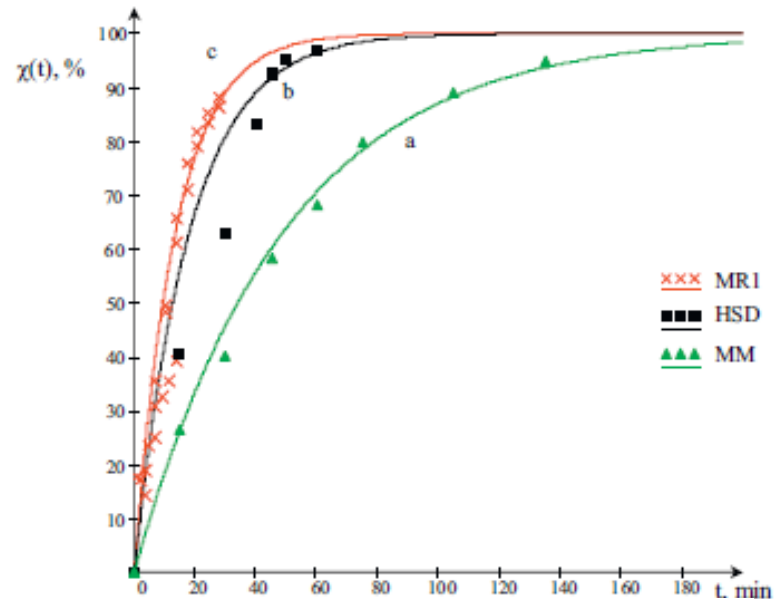
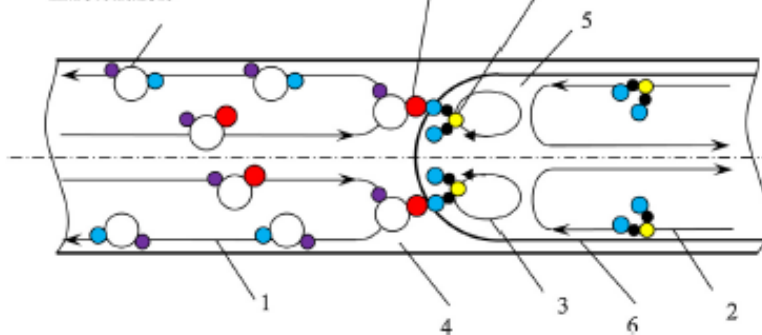
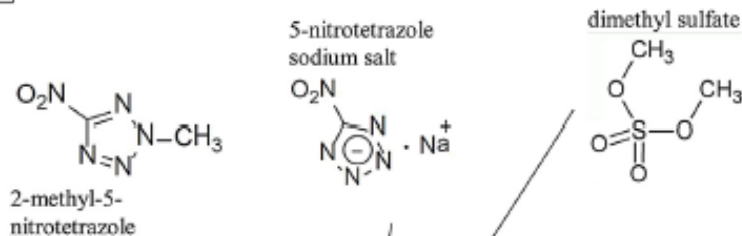
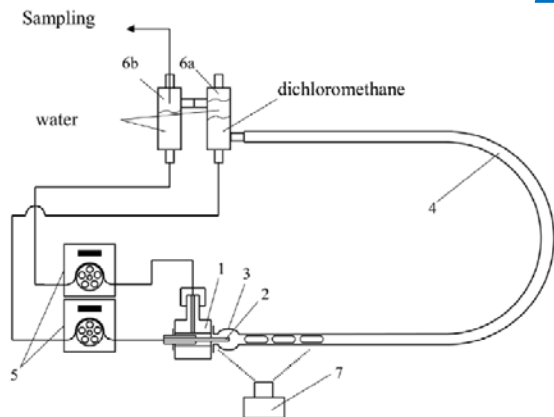


Fig. 7 – Dependence of the concentration of 2-methyl-5-phenyltetrazole (1, 3) and 1-methyl-5-phenyltetrazole (2, 4) on time: 1, 2 – in a batch reactor with TBAB; 3, 4 – in a microreactor without TBAB

E. A. Popova, R. Sh. Abiev, L. A. Lappalainen, S. D. Svetlov, T. V. Andreeva, R. E. Trifonov, and V. A. Ostrovskii. Synthesis of 5-phenyltetrazole and its N-methyl Derivatives in a Microreactor. *Chem. Biochem. Eng. Q.*, 28 (2) 241–246 (2014)

# Безопасный микрореакторный синтез гетероциклических соединений – 2-метил-5-нитротетразола



Интенсивное микросмешение, увеличение скорости процесса

R.Sh. Abiev, Y.N. Pavlyukova, O.M. Nesterova, S.D. Svetlov, V.A. Ostrovskii. Chem. Eng. Research and Design 144 (2019) 444–458