

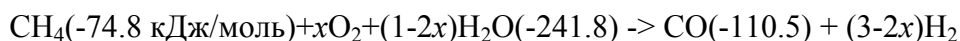
# ПОЛУЧЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНВЕРСИИ МЕТАНА В СИНТЕЗ-ГАЗ ПУТЕМ ЧАСТИЧНОГО ОКИСЛЕНИЯ. РЕАКТОР С ПОДВИЖНЫМ СЛОЕМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ПОДОГРЕВОМ РЕАГЕНТОВ.

Дорофеев С.О., Полианчик Е.В., Цветков М.В.

*Лаборатория Технологического горения*

*polian@icp.ac.ru*

Процессы окислительно-паровой конверсии позволяют совместить экзотермическую реакцию парциального окисления углеводорода с эндотермической паровой конверсией. Для «идеального» процесса конверсии метана:



энтальпия реакции равна нулю при  $x^* = 0.426$ .

Конверсия в синтез-газ требует высокой температуры, чтобы обеспечить скорость реакции и выход целевых продуктов – окиси углерода и водорода. Ранее показано, что конверсия в реакторе с противотоком твёрдого теплоносителя и отдельной подачей реагентов позволяет совместить малую теплоту брутто реакции с высокой температурой процесса благодаря рекуперации тепла продуктов [1]. Однако часть тепла реакции теряется с потоком нагретого теплоносителя. Возможно повышение эффективности рекуперации тепла при параллельном нагревании обоих реагентов.

Рассмотрим конверсию в реакторе, где поток твёрдого теплоносителя нагревается в токе продуктов (сингаза), рекуперировав их физическое тепло, а нагретый теплоноситель разделяется на два потока, так, что в одном нагревается поток горючего газа, в другом – газа-окислителя. Нагретые потоки реагентов смешиваются и реагируют в зоне горения. Предпочтительный режим процесса – когда теплоёмкость потока теплоносителя ниже, чем потока сингаза. При этом выше зоны горения устанавливается протяжённая высокотемпературная зона, где устанавливается химическое равновесие. Для рекуперации тепла сингаза теплоёмкости потоков теплоносителя и сингаза должны быть близки. Система уравнений, описывающая брутто-реакцию конверсии метана:



включает уравнения поэлементного сохранения углерода, водорода, кислорода и азота (если окислителем является воздух). Полагая теплоёмкость потоков теплоносителя и сингаза равными, можно найти связь суммарного потока теплоносителя с потоком сингаза. Если теплоёмкость субпотока теплоносителя, нагревающего окислитель равна теплоёмкости потока окислителя, находится и величина субпотока, нагревающего поток метана в смеси с паром.

Температура горения ( $T_c$ ) и состав сингаза ( $m, w, h, d$ ) определяется в зависимости от относительного расхода кислорода ( $x$ ) и водяного пара ( $w_0$ ). На рисунке (справа) представлены расчётные изотермы  $T_c$  в поле ( $x - w_0$ ) и изолинии отношения  $h/m$ .

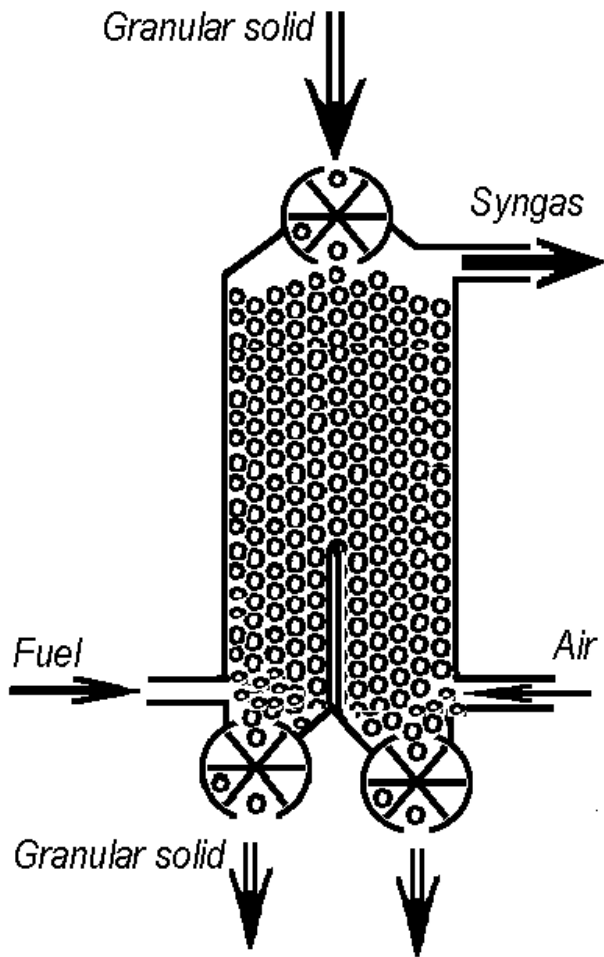
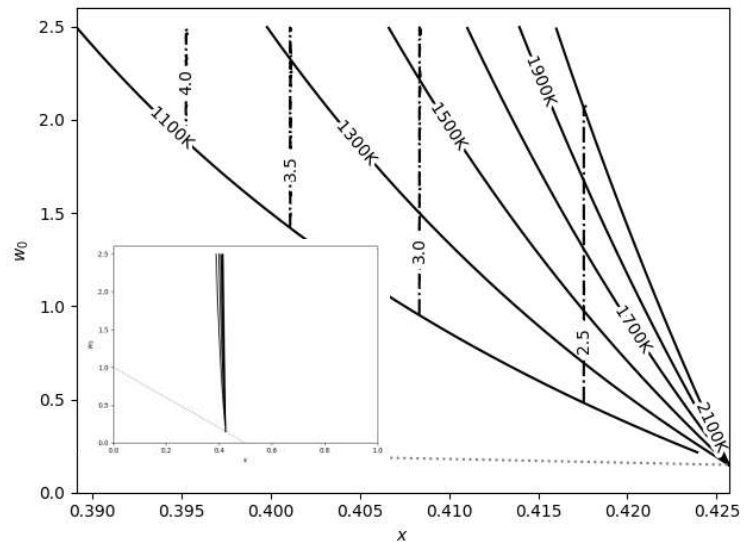


Схема потоков в реакторе

БРУТТО-РЕАКЦИЯ КОНВЕРСИИ МЕТАНА:



ИЗОТЕРМЫ  $T_c$  В ПЛОСКОСТИ  $x - w_0$

Зависимость  $T_c$  от расхода кислорода резкая – благодаря высокой рекуперации тепла малое увеличение тепловыделения ведет к сильному росту температуры. Зависимость  $T_c$  от расхода воды слабая.

- [1] Dorofeenko, S. O., Polianczyk, E. V., Tsvetkov, M. V. (2024). Toward the ultimate efficiency of methane to syngas conversion by partial oxidation: A moving bed reactor with parallel preheating of reactants. *Fuel*, 363, 131005.