

РАСЧЕТ РЕАКТОРНОГО БЛОКА Р11/1 УСТАНОВКИ И-7 ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗОБУТАНА

ПРЕДСТАВЛЕНО ПРИМЕНЕНИЕ CFD ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ, ОПИСЫВАЮЩИХ ГИДРОДИНАМИКУ И ТЕПЛООБМЕН В ПОРИСТЫХ ТЕЛАХ, В КОТОРЫХ ДВИЖЕНИЕ СЖИМАЕМОЙ ГАЗОВОЙ СМЕСИ ОПИСЫВАЕТСЯ МОДЕЛЬЮ ДАРСИ-БРИНКМАНА-ФОРШХАЙМЕРА. ВЫПОЛНЕНО МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ПРИ ТЕЧЕНИИ СМЕСИ УГЛЕВОДОРОДОВ В РЕАКТОРЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБУТАНА, А ТАКЖЕ ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ.

I. ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Постановка задачи

Общий вид модели конструкции реакторного блока Р11/1 установки И-7 для производства и-бутана приведен на рис. 1.

На вход реактора подается смесь углеводородов с преобладанием н-бутана. При движении смеси через слои катализатора на его поверхности происходит химическая реакция, в результате которой происходит образование и-бутана.

Для создания равномерных полей скорости при движении смеси в слоях катализатора, реактор имеет сложное внутреннее устройство, в котором перемежаются слои катализатора и слои, отсыпанные фарфоровыми шариками.

Схема заполнения реактора приведена на рис. 2.

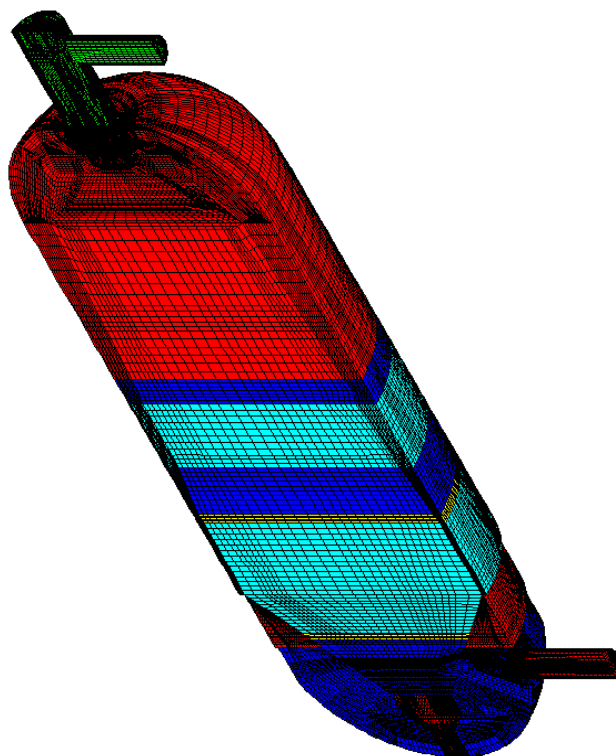


Рис. 1. Геометрическая модель реакторного блока

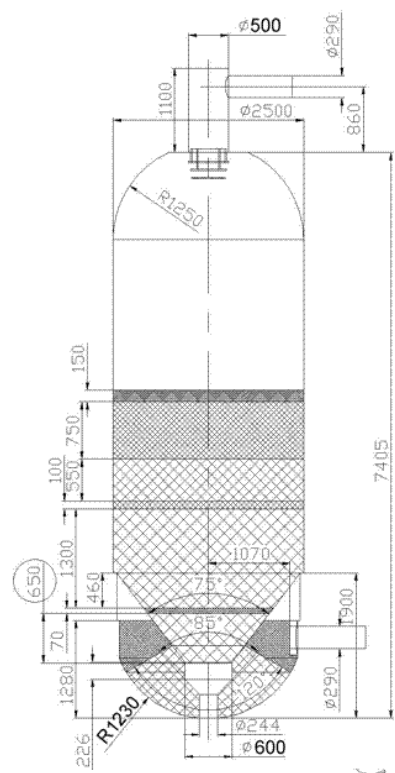


Рис. 2. Схема заполнения реактора

Проведено математическое моделирование движения смеси углеводородов в реакторном блоке для трех случаев, различающихся направлением подачи смеси и диаметром шариков засыпки.

Принятая модель пористого тела

Для моделирования течения во внутренней части реактора, частично заполненной пористым телом и имеющей включения из непроницаемого однородного материала, была применена модель Дарси-Бринкмана-Форшхаймера. Через пористое тело, расположенное между двумя свободными областями, осуществляется прокачка вязкого сжимаемого газа, причем пористая среда может иметь анизотропную теплопроводность и проницаемость.

Построение геометрической модели реактора

Для построения геометрической модели по предоставленным чертежам была создана расчетная схема, приведенная на рис. 2.

По данной схеме была построена геометрическая модель реакторного блока.

Затем данная модель (рис. 3) была импортирована в сеточный генератор, где на ее основе блочным методом были созданы фрагменты геометрической модели реакторного блока.

Особенность этой задачи состоит в том, что по сравнению с габаритными размерами характерные размеры элементов рассекателя и подводящего патрубка гораздо меньше, но так как движение смеси газов в колене подводящего патрубка и обтекание рассекателя являются определяющими процессами в формировании гидродинамического режима в реакторном блоке, сетка в этих конструктивных элементах должна быть наиболее подробной.

Поэтому для упрощения задачи построения расчетной сетки и ускорения процесса ее построения, строились три различные сеточные области (рис. 4), которые в дальнейшем соединялись в одну – как в , так и непосредственно в CFD-пакете (рис. 5), вместе с окончательной доводкой геометрической модели (рис. 1).

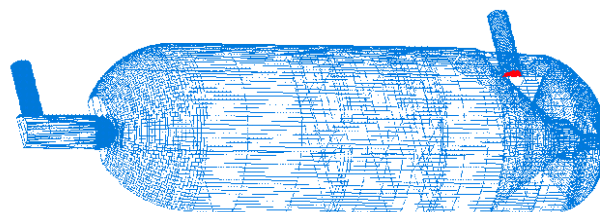


Рис. 3. Импорт поверхностной модели

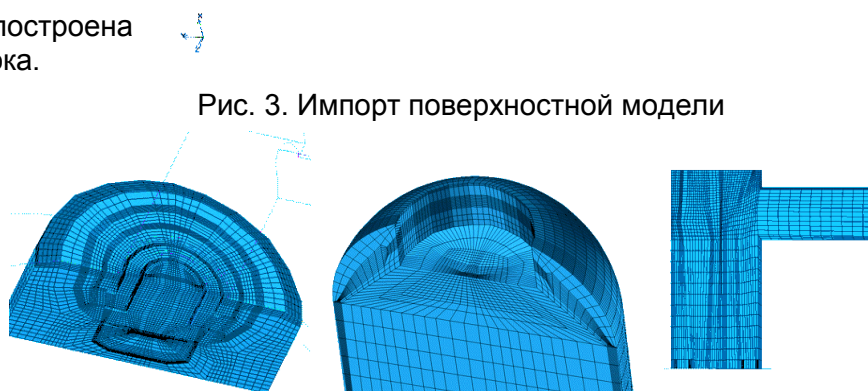


Рис. 4. Геометрические модели рассекателя, реакторного блока и подводящего патрубка

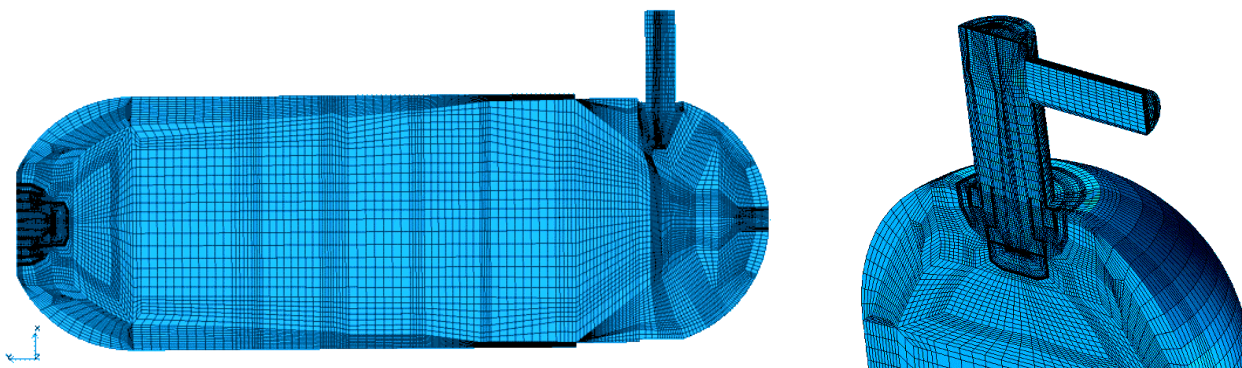


Рис. 5. Геометрическая модель реакторного блока и присоединение к ней модели входного патрубка

Представленная геометрическая модель содержит расчетную сетку, состоящую из 498335 контрольных объемов.

Результаты численного моделирования процессов гидродинамики в реакторе

- ***Вариант 1. Подача смеси осуществляется через верхний патрубок реактора и толщина верхнего слоя засыпки фарфоровыми шариками составляет 150 мм***

Данный вариант рассматривался в качестве базового, относительно которого определяются отличия в гидродинамических процессах при течении смеси в следующих вариантах.

Ниже на рис. 6-8 приведены результаты расчета в графической форме для всех трех вариантов.

Из их анализа следует, что имеет место ярко выраженная неравномерность течения смеси газов в верхней части реакторного блока и в первом слое катализатора, обусловленная двумя причинами:

- Неравномерным подводом смеси в реакторный блок
- Влиянием расположения выходного патрубка

Из анализа перетекания смеси газов в сторону выходного патрубка можно сделать вывод о том, что газ «чувствует», где находится выходной патрубок. Хотя по абсолютной величине разброс значений осевой скорости в первом слое катализатора меньше 10 %, но тенденция ускорения потока газа со стороны, где расположен выходной патрубок, проявляется отчетливо. Относительно течения смеси газов в нижнем слое катализатора можно заметить, что в этом случае неравномерность поля скорости (примерно в два раза) обусловлена влиянием конической формы нижней части слоя, что отчетливо проступает на рис. 8.

- ***Вариант 2. Подача смеси осуществляется через верхний патрубок реактора и толщина верхнего слоя засыпки фарфоровыми шариками составляет 500 мм***

Данный вариант получен следующей модификацией базового: слой шаровой засыпки над первым слоем катализатора увеличен со 150 до 500 мм, все остальные параметры оставлены без изменения.

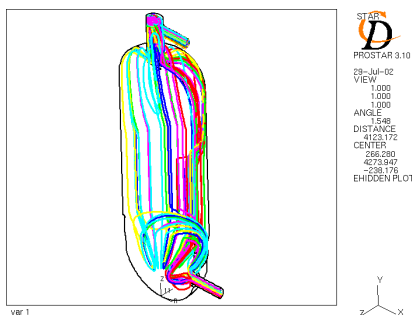
Увеличение толщины засыпки над первым слоем катализатора несколько уменьшило (на 1-2 %) неравномерность поля скорости в верхнем слое катализатора, но негативные особенности течения смеси через реакторный блок, отмеченные при анализе первого варианта, остались.

- ***Вариант 3. Подача смеси осуществляется через нижний патрубок реактора и толщина верхнего слоя засыпки фарфоровыми шариками составляет 500 мм***

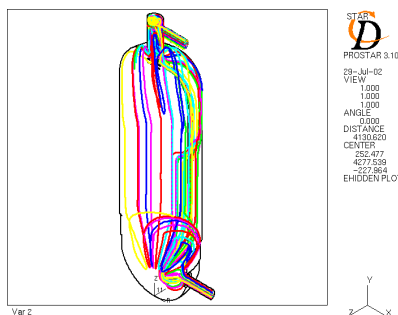
Данный вариант получен изменением направления подвода смеси для варианта № 2 – смесь подается в реакторный блок через выходной патрубок, а покидает его через входное устройство, т.е. в данном варианте изменено направление движения смеси на обратное. Все остальные параметры варианта № 2 были оставлены без изменения.

Изменение направления движения смеси газов практически не повлияло на гидравлические потери, которые возросли примерно на 5 %, но полностью удалило неравномерность течения в первом слое катализатора и в верхней части реакторного блока (рис. 8). Это оказалось возможным из-за осевого вывода смеси газов из реакторного блока. Отметим, что неравномерность движения смеси газов в нижнем слое катализатора осталась.

Вариант 1



Вариант 2



Вариант 3

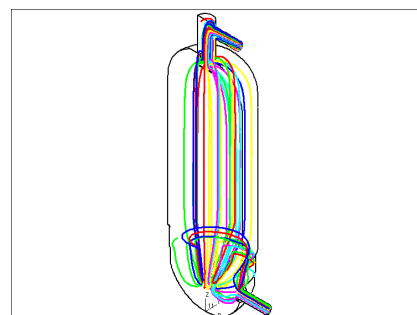


Рис. 6. Траектории движения смеси

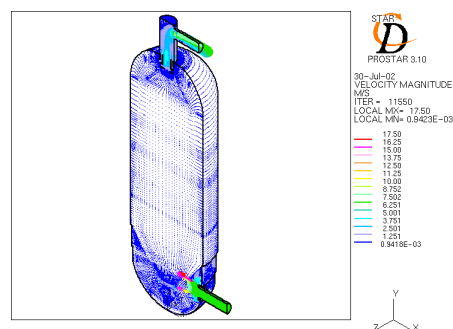
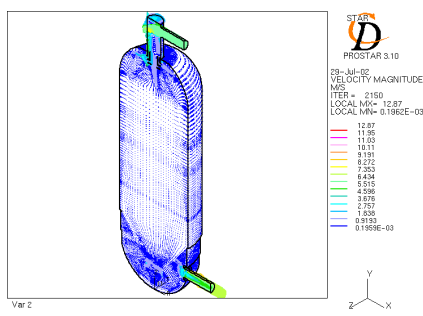
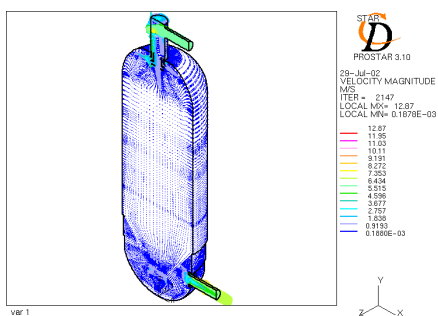


Рис. 7. Поле скоростей

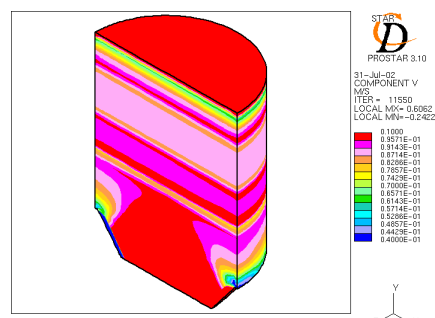
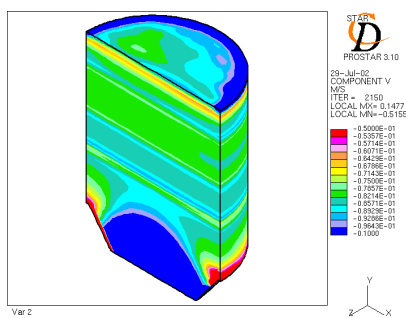
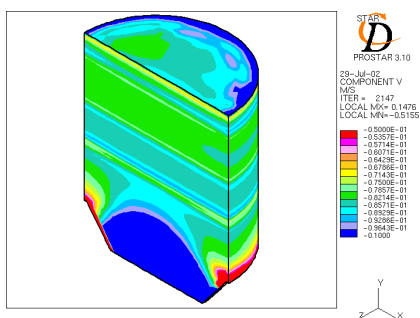


Рис. 8. Поле осевой скорости в рабочей части реакторного блока

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа результатов мат. моделирования процессов гидродинамики в реакторном блоке P11/1 установки И-7 для производства и-бутана можно сделать следующие выводы:

1. Отмечается неравномерность подачи смеси газов в реакторный блок, вследствие неудовлетворительной работы входного устройства из-за конструкции входного патрубка.
2. Присутствует неравномерность полей скорости смеси газов при ее движении внутри слоев катализатора, причем для нижнего слоя катализатора данная неравномерность определяется конструкцией реакторного блока.
3. Смесь газов при движении внутри реакторного блока «чувствует», где находится расположение выходного патрубка, и именно этим объясняется неравномерность движения смеси газов в верхнем слое катализатора.
4. Для устранения неравномерности при движении смеси в реакторном блоке увеличение толщины шаровой засыпки над верхним слоем катализатора полностью данную проблему не решает.

5. Для создания равномерного осевого движения смеси газов в реакторном блоке, требуется наличие равномерного осевого подвода смеси к рабочей части блока и наличие осевого равномерного отвода смеси из реакторного блока.

II. ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ

Постановка задачи

Для проведения оценочного прочностного расчета были приняты следующие допущения: материал корпуса, патрубков, сеток, внутренней облицовки и пояса – конструкционная сталь с линейными характеристиками; материал обмуровки – бетон с линейными характеристиками; материал катализатора и засыпки – нелинейная модель Друкера-Прагера. Ввиду симметрии моделировалась половина с наложением соответствующих граничных условий. Модель нагружалась собственным весом и внутренним давлением, и закреплялась по бобышкам пояса.

Построение КЭ модели реактора и проведение расчета

Предыдущая геометрическая модель была модифицирована средствами сеточного генератора и затем импортирована в ANSYS в формате Parasolid, после чего с помощью сеточного генератора ANSYS была сгенерирована КЭ сетка из элементов второго порядка (SOLID95, SOLID92, SHELL93; часть «солидов» была преобразована в элементы первого порядка путем удаления срединных узлов) со следующими параметрами: 352866 узлов, 335376 элементов, 1254906 активных степеней свободы. Общий вид модели см. на рис. 9. Счет проводился на однопроцессорной ПЭВМ P-IV /2 ГГц /RAM 2 GB /OC Linux RedHat 7.1, полное время счета – 88 часов.

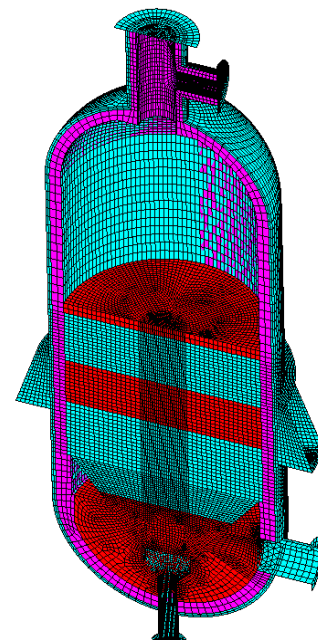


Рис. 9. Конечно-элементная модель реактора

Результаты прочностного расчета

Ниже приведены некоторые результаты: поле суммарных перемещений на всей модели и распределение эквивалентных по Мизесу напряжений в поясе. Максимальный уровень эквивалентных напряжений (меньший, однако, предела текучести) достигнут в соединении бобышек с поясом. Это место требует уточненных расчетов.

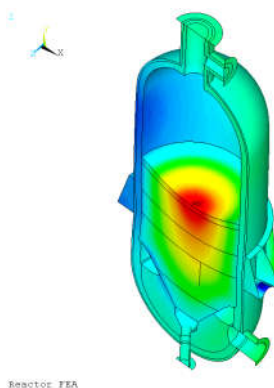


Рис. 10. Суммарные перемещения

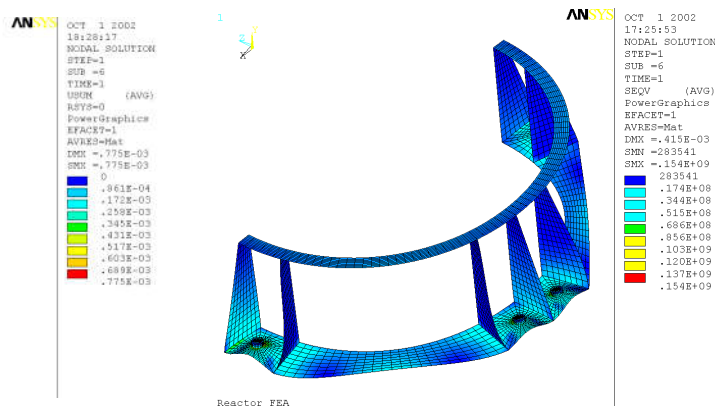


Рис. 11. Эквивалентные по Мизесу напряжения в поясе