

Всероссийская олимпиада студентов «Я – профессионал»**Демонстрационный вариант**

задания заключительного (очного) этапа

по направлению «Химическая технология»

Категория участия: «Магистратура/специалитет»

(для поступающих в аспирантуру/ординатуру)

Описание химико-технологического процесса:

Пиролиз, является основным процессом для получения низших (и самых важных) олефинов – этилена, пропилена и сопутствующих им продуктов. В производственной химии пиролиз – термическое разложение предельных углеводородов (алканов), сопровождающееся разнообразными и многочисленными параллельными процессами. Именно поэтому состав продуктов пиролиза весьма многообразен и может варьироваться в широких пределах в зависимости от типа сырья и технологических условий проведения реакции.

Ключевой химической реакцией в процессе пиролиза является расщепление длинных углеводородных цепочек на более короткие, сопровождающееся дегидрированием, то есть удалением молекул водорода с образованием двойных связей. Многие химические реакции в нефтехимической промышленности являются обратимыми. Для увеличения выхода требуемого продукта в рамках химической реакции нужно помнить о понятии химического равновесия, которое, как известно, поддается корректировке. Пиролиз протекает при температурах 700-900 °С и давлении, близком к атмосферному, при недостатке кислорода. Реакция идет в трубчатых печах, состоящих из двух отсеков. В первом сырье смешивается с паром и нагревается до температуры порядка 600 °С, после чего подается в трубы-змеевики, помещенные в топочную камеру, где сгорающее топливо создает необходимую температуру. В целом, в процессе пиролиза реализуются десятки типов химических превращений, идущих параллельно или последовательно.

Выход важнейших продуктов, а также расход сырья на их получение значительно варьируются в зависимости от типа сырья и режима проведения процесса. Из таблицы 1 видно, что наиболее эффективным сырьем для получения, например, этилена является этан – расход сырья невелик, выход целевого олефина высок. В то же время при использовании этана невелик выход бутадиена и бутиленов, а также жидких продуктов пиролиза. После выхода из печи газообразная смесь продуктов пиролиза проходит ряд технологических узлов (для отделения воды, пара, первичного разделения, сероочистки, осушки, компримирования и т.д.) и попадает в отделение фракционирования, то есть разделения смеси на индивидуальные компоненты. После этого полученные олефины готовы для использования в дальнейших превращениях, важнейшим из которых является полимеризация.

Таблица 1 – Выход важнейших продуктов пиролиза

Сырье	Расход сырья на 1 т этилена, т	Выход некоторых продуктов пиролиза, % мас.			
		Этилен	Пропилен	Бутилен-бутадиеновая фракция	Бензол
Этан	1,25	80,0	1,0	2,0	0,4
Пропан	2,79	35,8	16,2	3,7	3,3
Н-бутан	2,94	33,9	14,7	1,0	3,2

Проект «ЗапСибНефтехим» предполагает запуск установки пиролиза, предназначенной для получения этилена, пропилена полимерного сорта, 1,3-бутадиена, МТБЭ (метил-трет-бутиловый эфир) и 1-бутена в процессе высокотемпературного пиролиза этанового, пропанового и н-бутанового сырья и дальнейшего разделения продуктов пиролиза.

Установка пиролиза включает в себя:

- установку подготовки сырья – деэтанизатор;
- секцию производства этилена/пропилена;
- секцию переработки фракции C_4 с производством бутадиена, МТБЭ и бутена-1;
- секцию короткоциклового адсорбции (КЦА);
- секцию переработки фракций C_5 - C_9 ;
- паровые котлы, аппараты химводоподготовки;
- водоблок;
- блок производства деминерализованной воды;
- факельные установки;
- трансформаторные подстанции;
- контроллерные.

Начальной секцией установки является деэтанизатор, в котором происходит выделение этан/пропановой фракции из сжиженных углеводородных газов (ШФЛУ марки Б), поступающих по трубопроводу с газоперерабатывающих заводов. Результатом процесса ректификации, проходящей в деэтанизаторе, является выделение наиболее легкой газовой фракции C_1 - C_2 (метан-этановой) с верха колонны, которая идет в топливную сеть, оставшаяся часть ШФЛУ выводится с куба деэтанизатора и через цикл охлаждения и прохождения через теплообменники подается в хранилище.

Последующие процессы являются ключевыми в пиролизе ШФЛУ и будут происходить «в сердце установки» – в пиролизных печах. Перед поступлением в печи очищенное сырье предварительно нагревается и испаряется (то есть превращается в газ). Если сырье не подогревать, то, поступая в печи, оно будет охлаждать реактор, что нежелательно. После подогрева сырье под небольшим давлением подается на реакцию в печи пиролиза.

Затем продукты пиролиза попадают на блок фракционирования, состоящий из систем фракционирующих колонн и отстойников, разделяются на технологическую воду, на тяжелую смолу (температура начала кипения ~ 200 °С), на легкую смолу (пиробензин), на предварительно облегченный пирогаз (углеводороды C_1 - C_4 с содержанием углеводородов C_5 - C_8). Полученная технологическая вода подается обратно в печи пиролиза, тяжелая смола выводится из пиролизной установки для дальнейшей переработки.

Далее легкий пирогаз поступает на узел компримирования, состоящий из многоступенчатого компрессора. Суть этой операции заключается в ступенчатом повышении давления пирогаза. Этот процесс осуществляют поэтапно в силу двух основных факторов. Во-первых, сразу дожать пирогаз до высокого давления одним компрессором трудно, для этого последний должен быть слишком большим, слишком мощным, сложным в монтаже и обслуживании, энергозатратным и малонадежным. Во-вторых, при повышении давления пирогаза часть его компонентов переходит в жидкое состояние. Образуются компоненты пиробензина (пироконденсата), которые ранее выпадали на колонне

первичного фракционирования из-за понижения температуры. Их нужно отделять от пирогаза. Сделать это качественно в течение одного цикла невозможно. Из этих соображений компримирование пирогаза осуществляют постепенно в несколько ступеней с промежуточным отделением выпадающего пироконденсата.

Между стадиями компрессии предусмотрены теплообменники и сепараторы для охлаждения компримированного пирогаза и его сепарации с дополнительным выделением влаги и пироконденсата. На этой стадии пирогаз сжимается до давлений 3,7-3,8 МПа для повышения температур кипения разделяемых продуктов. Также между стадиями компримирования предусмотрен узел очистки пирогаза от кислых газов (CO₂, H₂S), представляющий собой насадочную колонну, в которой происходит хемосорбция кислых газов раствором NaOH.

После последней ступени компримирования пирогаз идет на финальную осушку от остатков воды. После осушки пирогаз подается в блок выделения водорода и метана. Отделение этих легких газов связано со ступенчатым охлаждением пирогаза, который после компримирования находится под высоким давлением. В итоге все компоненты пирогаза превращаются в жидкость, и лишь метан и водород (температуры кипения при нормальных условиях составляют –162 °С и –253 °С соответственно) остаются в виде газов и легко отделяются от основной части пирогаза. Охлаждение пирогаза происходит ступенчато в каскаде теплообменных аппаратов.

Охлаждение пирогаза после блока осушки ступенчато осуществляется в нескольких теплообменных аппаратах: пирогаз протекает по трубам, окруженным кожухом, через который циркулирует охладитель. С помощью пропилена на каскаде теплообменников пирогаз охлаждается до – 37 °С. После этого он подается на сепараторы. Для более эффективного разделения и во избежание потерь целевых продуктов циклы охлаждения и отделения несколько раз повторяются, ступенчато снижается и температура, до которой охлаждается пирогаз. Достижимый предел составляет порядка – 70 °С. Поскольку в блоке охлаждения пирогаза задействованы несколько сепараторов, то суммарный поток пирогаза, который идет на дальнейшую переработку, состоит из соответствующего количества потоков с разной температурой и разным составом. Все они отдельными трубопроводами подаются на колонный аппарат, который носит название деметанизатор. По своей сути это ректификационная колонна, которая и осуществляет финальную очистку пирогаза от остаточного метана и водорода.

Итак, на выходе из деметанизатора пирогаз состоит из целевых продуктов – этилена и пропилена, попутно образовавшихся в ходе пиролиза этана и пропана, фракции C₄ (бутаны, бутилены, бутадиен) и остатков углеводородов C₅-C₉. После выделения и очистки целевые продукты комплекса пиролиза отправляются на продуктовые склады хранения. Главными же продуктами являются этилен и пропилен, которые накапливаются в изотермических хранилищах перед тем, как отправиться на следующий передел – полимеризацию.

Основные требования к сырью и оборудованию

Для установки пиролиза к сырью предъявляются следующие требования: сырье должно содержать не более 50 ppm метанола, а также в сырье не должен присутствовать CO₂. В связи с этим на установке пиролиза предусмотрены секции подготовки сырья, включающие в себя секцию удаления метанола и очистки от CO₂.

Таблица 2 – Нормы расхода пиролиза ШФЛУ

№	Вид готовой продукции	Наименование сырья	Расход на 1 т готовой продукции
1	Этилен	C ₂ /C ₃ фракция	1,543
		Пропан	2,190
		н-Бутан	2,166
2	Пропилен	C ₂ /C ₃ фракция	17,388
		Пропан	5,122
		н-Бутан	4,825

3	Бутадиен	C ₂ /C ₃ фракция	33,713
		Пропан	35,920
		н-Бутан	25,957
4	МТБЭ	C ₂ /C ₃ фракция	1 112,532
		Пропан	217,554
		н-Бутан	224,542
5	Бутен-1	C ₂ /C ₃ фракция	436,563
		Пропан	113,222
		н-Бутан	79,522

Таблица 3 – Требования к сырью пиролиза ШФЛУ

№	Сырье/Продукты	C ₂ /C ₃ фракция, т/ч	Пропан, т/ч	н-Бутан, т/ч
Сырье				
1	C ₂ /C ₃ фракция	68,977		
2	Пропан		169,040	
3	н-Бутан			131,133
4	Метанол на установку МТБЭ	23	264	213
Продукты				
1	Этилен	44,701	77,205	60,533
2	Пропилен	3,967	33,005	27,174
3	Бутадиен	2,046	4,706	5,052
4	МТБЭ	0,062	0,777	0,584
5	Бутен-1	0,158	1,493	1,649

Задания кейса:

1. Идентифицировать «узкие-места» процесса пиролиза ШФЛУ;
2. Предложить возможные технологические и аппаратурные решения для оптимизации и повышения энерго- и ресурсоэффективности процесса пиролиза ШФЛУ;
3. Предложить возможные цифровые решения для оптимизации и повышения энерго- и ресурсоэффективности процесса пиролиза ШФЛУ;
4. Предложить комплекс мероприятий по внедрению предложенных технологических, аппаратурных и цифровых решений;
5. Предложить комплекс мероприятий по энергосбережению и снижению удельного потребления энергоресурсов на выпуск продукции;
6. Осуществить оценку рисков внедрения предложенных решений и оценку экономического эффекта от внедрения предложенных решений.

Критерии оценивания решения заданий кейса:

1. Полнота решения заданий кейса (*максимум 30 баллов*);
2. Техническая грамотность решений (*максимум 20 баллов*);
3. Оригинальности и новизна решений (*максимум 20 баллов*);
4. Экономическая составляющая решений (*максимум 10 баллов*);
5. Представление решений кейса – презентация и доклад (*максимум 10 баллов*);
6. Ответы на вопросы (*максимум 10 баллов*).

Спецификация для заключительного (очного) этапа Олимпиады «Я – профессионал»

Название направления	Химическая технология
Указание уровня подготовки	Категория «Магистратура/специалитет»
Описание целевой аудитории	<p>Студенты магистратуры и специалитета , обучающиеся в образовательных организациях по следующим направлениям подготовки:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 18.04.01 «Химическая технология» • 18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» • 19.04.01 «Биотехнология» • 18.05.01 «Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий» • 18.05.02 «Химическая технология материалов современной энергетики»
Максимальное количество баллов	100 баллов
Время на выполнение	240 минут
Список ресурсов для самостоятельной подготовки	<ol style="list-style-type: none"> 1. Общая химическая технология: учебник для вузов / В.С. Бесков. – Москва: Академкнига, 2005. – 452 с. 2. Общая химическая технология в 2 т.: / под ред. И.П. Мухленова – 5-е изд., стер. – М.: Альянс, Т. 1: Теоретические основы химической технологии. – 2009. – 256 с. 3. Общая химическая технология в 2 т.: / под ред. И.П. Мухленова – 5-е изд., стер. – М.: Альянс, Т. 2: Важнейшие химические производства. – 2009. – 263 с. 4. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов / А.Г. Касаткин. – Изд. стер. – Москва: Альянс, 2014. – 750 с. 5. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учебное пособие / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. – 13-е изд., стер. – Москва: Альянс, 2006. – 576 с. 6. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза: учебное пособие для вузов / В.С. Тимофеев, Л.А. Серафимов, А.В. Тимошенко. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Высшая школа, 2010. – 408 с. 7. Химическая технология неорганических веществ в 2 кн.: учебное пособие: / Т.Г. Ахметов [и др.]; под ред. Т.Г. Ахметова. – Москва: Высшая школа, 2002, Кн. 1. – 2002. – 688 с.

	<p>8. Химическая технология неорганических веществ в 2 кн.: учебное пособие: / Т.Г. Ахметов [и др.]; под ред. Т.Г. Ахметова. – Москва: Высшая школа, 2002, Кн. 2. – 2002. – 533 с.</p> <p>9. Курс «Промышленная биотехнология» https://www.coursera.org/learn/industrial-biotech</p> <p>10. Лекции ученых МГУ. Цикл видео-лекций по химической технологии Лазорьяк Б.И., Хейфец Л.И., https://teach-in.ru/course/chemical-engineering.</p>
Формат состязаний. Требования к содержанию и оформлению заданий.	<p>Состязания проходят в формате решения и защиты решений кейсов (производственных задач).</p> <p>Участники заключительного (очного) этапа получают кейс, направленный на решение производственной задачи. Кейс включает подробное описание промышленного химико-технологического процесса (технологии): информацию о сырье и продуктах процесса, материальном балансе установок, особенностях технологии и аппаратурного оформления, связи технологического процесса с прочими процессами на предприятии.</p> <p>Задание кейса включает в себя поиск «узких мест» промышленного химико-технологического процесса (технологии); представление возможных технологических, аппаратурных и цифровых решений, направленных на оптимизацию и повышение эффективности процесса; разработку комплекса мероприятий по внедрению предложенных решений; разработку комплекса мероприятий по энергосбережению и снижению удельного потребления энергоресурсов на выпуск продукции; оценку рисков и экономического эффекта от внедрения предложенных решений.</p> <p>На поиск решения кейса участникам дается 120 минут, во время поиска решения разрешено пользоваться персональным компьютером/ноутбуком, а также Internet.</p> <p>По истечении 120 минут на решение кейса участникам предоставляется 90 минут на подготовку и оформление презентации, содержащей решение кейса.</p> <p>По истечении 90 минут участники в определенной жеребьевкой очередности приступают к защите подготовленных решений кейсов перед жюри (представители научных и образовательных организаций, работодателей). На защиту решения кейса дается 10 минут, на ответы на вопросы от жюри – 5 минут.</p>
Дополнительная информация/инструкции для участников, которые не вошли в Регламент по направлению	Нет
Краткое описание структуры задания и его основные	Задание кейса включает в себя:

<p>характеристики. Система оценивания заданий.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Идентификацию «узких-мест» промышленного химико-технологического процесса (оценка знаний общих принципов промышленной реализации химико-технологических процессов); • Представление возможных технологических и аппаратурных решения для оптимизации и повышения энерго- и ресурсоэффективности промышленного химико-технологического процесса (оценка понимания и владения современными технологиями, аппаратурными решениями в области химической-технологии); • Представление возможных цифровых решений для оптимизации и повышения энерго- и ресурсоэффективности промышленного химико-технологического процесса (оценка понимания и владения современными промышленными цифровыми технологиями); • Представление комплекса мероприятий по внедрению предложенных технологических, аппаратурных и цифровых решений (оценка системности подходов, знания и понимания взаимосвязи технологических процессов); • Представление комплекса мероприятий по энергосбережению и снижению удельного потребления энергоресурсов на выпуск продукции (оценка системности подходов, знаний принципов энергосбережения и бережливого производства); • Оценку рисков внедрения предложенных решений и экономического эффекта от внедрения предложенных решений (оценка системности подходов, знаний экономики промышленных предприятий). <p>Максимальное количество баллов за решение задание кейса – 100 баллов, оценка осуществляется в соответствии с критериями оценки.</p>
<p>Информация об элементах практикоориентированности в заданиях (участие работодателей в составлении заданий)</p>	<p>Задание кейса разрабатывается полностью совместно с работодателем, включает информацию о действующем промышленном химико-технологическом процессе (технологии) с учетом существующих проблем и задач в реализации процесса (технологии), взаимосвязи с другими процессами на предприятии.</p>
<p>Критерии оценивания</p>	<p>1) Полнота решения заданий кейса (максимум 30 баллов):</p> <p>Кейс содержит 6 заданий, представление решения каждого задания оценивается в 5 баллов.</p> <p>2) Техническая грамотность решений (максимум 20 баллов):</p> <p>Оценивается знание и понимание химико-технологических процессов, реализуемость и отсутствие</p>

технических противоречий в предлагаемых решениях.

Все предлагаемые решения являются реализуемыми и технически грамотными – 20 баллов.

Более 50% предлагаемых решений являются реализуемыми и технически грамотными – 15 баллов.

50% предлагаемых решений являются реализуемыми и технически грамотными – 10 баллов.

Менее 50% предлагаемых решений являются реализуемыми и технически грамотными – 5 баллов.

Ни одно из предлагаемых решений не является реализуемым и технически грамотным – 0 баллов.

3) Оригинальности и новизна решений (максимум 20 баллов):

Оценивается использование передовых технологий, новаторских решений, эффект от предлагаемых решений.

Все предлагаемые решения являются оригинальными и новыми, имеющими положительный эффект – 20 баллов.

Более 50% предлагаемых решений являются оригинальными и новыми, имеющими положительный эффект – 15 баллов.

50% предлагаемых решений являются оригинальными и новыми, имеющими положительный эффект – 10 баллов.

Менее 50% предлагаемых решений являются оригинальными и новыми, имеющими положительный эффект – 5 баллов.

Ни одно из предлагаемых решений не является оригинальным и новым, не имеет положительного эффекта – 0 баллов.

4) Экономическая составляющая решений (максимум 10 баллов):

Оценивается экономическая эффективность предлагаемых решений, наличие экономического обоснования предлагаемых решений.

Представлено экономическое обоснование всех предлагаемых решений, все предлагаемые решения

являются экономически эффективными – 10 баллов.

Представлено экономическое обоснование более чем 50% предлагаемых решений, более чем 50% предлагаемых решений являются экономически эффективными – 8 баллов.

Представлено экономическое обоснование 50% предлагаемых решений, 50% предлагаемых решений являются экономически эффективными – 5 баллов.

Представлено экономическое обоснование менее чем 50% предлагаемых решений, менее чем 50% предлагаемых решений являются экономически эффективными – 3 балла.

Не представлено экономическое обоснование ни для одного из предлагаемых решений, ни одно из предлагаемых решений не является экономически эффективным – 0 баллов.

5) Представление решений кейса – презентация и доклад (максимум 10 баллов):

Оценивается структурирование информации в презентации, качество оформления презентации, качество доклада, навыки публичного выступления.

6) Ответы на вопросы (максимум 10 баллов):

Даны верные ответы на все заданные жюри вопросы – 10 баллов.

Даны верные ответы более чем на 50% заданных жюри вопросов – 8 баллов.

Даны верные ответы менее на 50% заданных жюри вопросов – 5 баллов.

Даны верные ответы менее чем на 50% заданных жюри вопросов – 3 балла.

Не дан ответ не на один из заданных жюри вопросов – 0 баллов.