Полезное тепло синтеза аммиака

Направление: Теплотехника и энергосбережение

Цель: Предложить решение для полезного использования тепла при производстве аммиака и оценить экономию энергии и затраты.

Справка о компании: «ЕвроХим» — производитель минеральных удобрений, объединяющий добычу сырья, химическое производство и сбыт продукции. Предприятия группы выпускают азотные, фосфорные и калийные удобрения. Их технологические процессы связаны с производством кислот и аммиака, использованием воды и энергии, а также обращением с побочными продуктами производства.

Задача участников

Предложите энергетикам способ использовать низкопотенциальное тепло агрегата синтеза аммиака. Покажите, кому и в какие часы оно полезно, сколько энергии потребуется самому решению и при каких ценах оно окупается. Представьте схему или демонстрацию своего решения, воспроизводимый расчёт и план проверки.

Примечание для лиги школ

Здесь достаточно изучить передачу тепла между выданными учебными потоками: знание технологии синтеза аммиака для расчёта не требуется. Вторичный контур — отдельная система переноса тепла, через которую источник связывают с потребителем. Тепловая мощность показывает, сколько энергии передаётся за единицу времени. Если мощность постоянна, количество переданной энергии равно мощности, умноженной на продолжительность работы. Поэтому доступная мощность источника и полезная годовая энергия — разные величины.

HX обозначает теплообменник, HP — тепловой насос, ORC — установку преобразования части тепла в электричество. Это варианты для самостоятельного выбора, а не обязательная комбинация всех технологий. Температурный напор — разность температур двух потоков в соответствующем конце теплообменника: условие проверяют на обоих концах. COP теплового насоса — отношение переданного потребителю тепла к затраченной электрической энергии в заданном режиме. Собственные нужды — энергия на работу самого оборудования.

CAPEX — первоначальные капитальные затраты, OPEX — текущие эксплуатационные расходы. Простая окупаемость сопоставляет первоначальные затраты с положительным годовым денежным эффектом; при нулевом или отрицательном эффекте конечной простой окупаемости нет. Аналог — существующий подход или устройство для той же функции, сравниваемый по понятным признакам, например условиям работы, затратам и обслуживанию. Эти пояснения не добавляют требований к проекту.

1 Контекст и цель

Низкопотенциальное тепло возникает при отводе энергии от процесса синтеза аммиака. Энергетик должен связать источник с потребителем нужной температуры и графика: наличие горячего потока ещё не означает полезной годовой экономии. Эксплуатации важны доступ, обслуживание и поведение при остановке потребителя.

Разработайте конфигурацию утилизации на общем узле вторичных контуров. Достаточно одного выбранного потребителя; дорожная карта 2027–2030 может быть краткой. Исходный контекст: 60–150 °C, агрегат 1300–2000 т/сутки. Удельные 28–35 ГДж/т не равны доступному отходящему теплу. Изменение химического синтеза и подключение к действующей установке не выполняются.

2 Обязательный основной результат

- Схема с выбранными соединениями/компонентами, температурами и мощностями.
- Балансы выбранной схемы по общим режимам и сравнение с базой без утилизации; CAPEX/OPEX и годовой денежный эффект. Чувствительность тарифов/CAPEX ±20 % и расчёт второй технической альтернативы — необязательное развитие.
- План измеримого пилота и этапов 2027–2030, с указанием отсутствующих производственных данных.

3 Общий паспорт объекта

Все нижеследующие числа — единый учебный сценарий, не паспорт ПМУ.

Источник	m, кг/с	ср, кДж/(кг·К)	Вход, °C	Мин. выход, °C
H1	20	4.18	90	60
H2	8	4.18	120	80
H3	15	1.01	75	45

Спрос	Вход, °C	Выход, °C	Предел, кВт
C1	25	55	1600
C2	70	105	2400

Источники H1/H2 — изолированные водные контуры; H3 — чистый условный воздушный поток. Площадка пилота 60 м². Расстояния: H1–C1 40 м, H1–C2 70 м; H2–C1 60 м, H2–C2 30 м; H3–C1 25 м, H3–C2 55 м. Подключение нескольких ветвей суммирует длины без двойного учёта общего участка; свой вариант трассы объясните.

Режим	ч	H1	H2	H3	Доля C1	Доля C2
P1	2000	1	1	1	1	1
P2	2000	1	1	1	1	1
P3	1000	1	1	1	1	0
P4	1000	1	1	1	0.5	1
P5	1000	1	0	1	0.6	1
P6	1000	1	0	1	0.4	0

Флаг источника 0/1 задаёт доступность, доля потребителя умножает его предельный спрос. Признаки независимы: в P3 нет C2 при работающем H2, в P5 C2 есть без H2. Сохраняйте суммарные часы 8000; H2 доступен 6000 ч.

4 Справка по отдельным компонентам

ID	Назначение	Номинал, кВт	Ограничение	Собств., кВт	Цена, млн руб.	м²
HX-L	жидкость/жидкость	2000	10	8	5	4
HX-M	жидкость/жидкость	3500	10	12	8	6
HX-G	газ/жидкость	500	10	6	4	5
HP	тепловой насос, тепло выхода	500	COP по карте	2	14	8
ORC	тепло на входе	1000	T входа ≥ 70 °C	5	20	10

Номинал — верхняя граница одного устройства, допускается частичная нагрузка и несколько единиц. Для HX минимальный напор 10 °C на обоих концах; указанные собственные нужды постоянны при включении. Карта HP: при температуре источника после отбора ≥ 45 °C и выходном теплоносителе 65 °C COP=4; при ≥ 35 °C / 80 °C COP=3,5; при ≥ 60 °C / 115 °C COP=2,8. Для HP учитывайте собственные 2 кВт сверх Q/COP. Тепло конденсатора передаётся потребителю через температурный напор 10 °C. ORC: при входе 70–99 °C валовая доля электроэнергии 0,06, при 100–150 °C — 0,08; отводимое остаточное тепло в базовой модели не используется.

Статья	Значение	Единица
Замещённое полезное тепло	1800	руб./МВт·ч
Электроэнергия	7000	руб./МВт·ч
Труба двойного вторичного контура	0.08	млн руб./м трассы
Годовое обслуживание	0.02	доля CAPEX
Предел первого пилота	90	млн руб.
Горизонт	5	лет

5 Расчётные зависимости и границы

$$Q = m\,cp\,(Tin - Tout);\; E = Qh/1000;\; QHP,source = QHP,out - QHP,out/COP$$

Q — кВт; h — ч; E — МВт·ч. Для теплообменника проверить обе концевые разности температур.

Эффект = стоимость реально замещённого тепла + чистой выработки электричества − покупная энергия − обслуживание. Трасса входит в CAPEX. Нельзя одновременно отдать одну и ту же энергию как полезное тепло и как вход ORC. Без НДС, инфляции,

дисконтирования и остаточной стоимости; при отрицательном эффекте конечной простой окупаемости нет.

6 Ваши проектные решения

Вы выбираете связи потоков, масштаб/число устройств, каскад/резерв, частичные нагрузки и правило включения. Допустимы прямой теплообмен, подъём температуры, преобразование в электричество или другой обоснованный подход. Каталог — независимые учебные свойства, не рекомендация конкретной сборки.

7 Материалы для работы

Таблицы и зависимости в постановке — общий учебный паспорт. CSV в приложениях — удобные копии/справки, а не обязательный обучающий датасет. Компоненты можно сочетать, масштабировать в объявленных пределах или заменить обоснованными характеристиками.

8 Свои данные и развитие

Вы вправе использовать собственные измерения, открытые источники, новые технологии и синтетические данные. Укажите источник/способ получения, дату или версию, условия использования, единицы, допущения и ограничения переноса. Общие обязательные объект, нагрузки, периоды и экономическая база сохраняются; эффект расширения показывайте отдельно. Наличие большого набора, программного кода или большого числа функций само по себе не преимущество. Простое обоснованное решение может быть лучшим.

Ниже — необязательные направления. Можно выбрать свой путь развития или глубже проработать основной результат; количество расширений само по себе не повышает оценку.

- Несовпадение графиков, накопление/каскад: показать дополнительную полезную энергию и цену.
- Загрязнение/обслуживание: проверить изменение доступности/температур и план контроля.
- Новый потребитель: отдельно подтвердить спрос, температуру, часы и стоимость подключения.

9 Проверка и сдача

- В каждом режиме замкнут баланс источников и потребителей; соблюдены температуры/номиналы/площадка.
- Результат проекта отличается от доступной мощности: спрос, собственные нужды и периоды учтены.
- Объяснены выбор и границы эффекта; положительная экономика не объявлена гарантией внедрения.

Передайте схему/эскиз и воспроизводимую расчётную записку или таблицу с исходными формулами, сравнение базы/проекта, экономику и план проверки. Код и физическое изделие необязательны, если прямо не требуется демонстрация. Проектная заявка и презентация — по приложениям 4 и 8 положения.

Входные материалы и их использование

Материал	Назначение, роль и применение
Источники	Температуры, расходы и доступность источников тепла.

Материал	Назначение, роль и применение
Спрос	Тепловые нагрузки и условия потребителей.
Независимые рабочие режимы	Графики работы источников и потребителей.
Компоненты	Независимые характеристики оборудования для выбора схемы.
Цены ресурсов	Цены энергии, монтажа и обслуживания.

Общие требования конкурса

Решение оформляется проектной заявкой и презентацией по приложениям 4 и 8 положения. Презентация: PDF, не более 16 слайдов и 25 МБ. На финале доклад до 10 минут и вопросы до 5 минут.

Доступное основное решение

Для полного основного результата достаточно самостоятельно выбрать один потребитель и обосновать прямой теплообмен: источник, устройство, масштаб и трассу выбирает команда. Другой осмысленный способ допустим при равноценной проверке температур, энергии, затрат и ограничений. Тепловой насос, ORC, каскад и несколько потребителей не обязательны.

Все исходные числа и шесть режимов сохраняются. Одинаковые строки P1/P2 разрешено объединить в одну расчётную строку с суммой часов. При отключённом выбранном потребителе полезная передача ему равна нулю; соответствующие часы нельзя исключать из года. Достаточно одной воспроизводимой таблицы: доступное тепло, спрос, переданное тепло, собственная энергия и годовой итог. Сравните с базой без утилизации; альтернативу можно обсудить качественно.