

ГАЗОФИКАЦИЯ УГЛЕЙ

Технология прямого восстановления железа (DRI) с использованием предварительной газификации угля — это передовое решение для регионов, где природный газ дорог или дефицитен, но есть дешевые запасы некоксуемого (энергетического) угля. В отличие от традиционных методов, здесь уголь превращается в газ (синтез-газ) в отдельной установке, прежде чем попасть в печь к железной руде.

1. Технология

Основная идея заключается в объединении **установки газификации угля** (Coal Gasification Plant, CGP) и **шахтной печи прямого восстановления** (например, MIDREX или Energiron/HYL).

Процесс выглядит так:

- 1. Газификация:** Измельченный уголь подается в газификатор, где при высокой температуре и давлении в присутствии кислорода и водяного пара происходит его неполное окисление.
$$\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$$
$$\text{C} + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}$$
- 2. Очистка:** Полученный «сырой» газ очищается от серы, золы, смол и избыточного CO₂. На выходе получается чистый **синтез-газ**, состоящий в основном из CO и H₂.
- 3. Восстановление:** Синтез-газ нагревается и подается в шахтную печь, где он проходит через слой железной руды (окатышей), забирая у нее кислород и превращая её в металлическое железо (DRI).

2. Отличие газификации от коксования

Это два принципиально разных подхода к использованию угля в металлургии:

Характеристика	Газификация угля (для DRI)	Коксование угля (для Доменных печей)
Конечный продукт	Газ (смесь CO и H ₂)	Твердый кокс (почти чистый углерод)
Тип угля	Энергетический уголь (дешевый, некоксуемый)	Коксующийся уголь (дорогой, дефицитный)
Роль кислорода	Процесс идет при недостатке кислорода	Процесс идет без доступа воздуха
Экология	Более чистый процесс; легче улавливать CO ₂ и серу в потоке газа	Высокие выбросы в атмосферу (фенолы, аммиак, пыль)

Функция в печи	Только химический восстановитель	Восстановитель + топливо + «скелет» для поддержки шихты
----------------	----------------------------------	---

3. Крупнейшие предприятия в мире

В мире существует лишь несколько гигантов, реализовавших эту схему в промышленных масштабах, так как она требует сложной интеграции двух разных химических производств.

Jindal Steel and Power Limited (JSPL) — Ангул, Индия

Это **самое известное и крупное в мире** производство такого типа.

- **Технология:** Газификаторы Lurgi + Шахтная печь MIDREX.
- **Особенности:** Завод использует местный индийский уголь с высокой зольностью для получения DRI. Мощность установки — около **2 млн тонн в год**. Это эталонный проект для стран, желающих уйти от зависимости от импортного газа.

POSCO — Пхохан, Южная Корея (Технология FINEX)

Хотя FINEX часто называют процессом плавки-восстановления (на выходе жидкий чугун), он базируется на предварительной газификации угля.

- **Технология:** Уголь газифицируется прямо в реакторе-газификаторе (melting-gasifier), а полученный газ восстанавливает рудную мелочь в каскаде реакторов кипящего слоя.
- **Статус:** В Пхохане работают установки мощностью от 1.5 до 2.0 млн тонн в год.

Baosteel — Гуандун/Шанхай, Китай (Технология COREX)

COREX — предшественник FINEX, также использующий газификацию угля для производства восстановительного газа.

- **Технология:** Установка COREX C-3000.
- **Особенности:** Нижняя часть установки работает как газификатор угля, а верхняя — как шахтная печь для восстановления руды.
- **Предприятия:** Крупные установки работают на заводах Baosteel в Шанхае (Луоцзин) и Чжэньцзяне.

Essar Steel (сейчас AM/NS India) — Хазира, Индия

На этом заводе также установлены модули COREX, которые генерируют избыточный газ. Этот газ очищается и подается в традиционные печи MIDREX для экономии природного газа.

Резюме и перспективы на 2026 год

Сегодня технология DRI на базе газификации угля переживает «второе дыхание» из-за тренда на **декарбонизацию**.

1. Из потока синтез-газа гораздо легче и дешевле выделить и захоронить CO₂ (технология CCS), чем из дымовых газов доменной печи.
2. Такие установки являются переходным этапом к **водородной металлургии**: газификатор можно со временем заменить на электролизер, не меняя основную печь восстановления.