

Объединение независимых экспертов в области минеральных ресурсов,  
металлургии и химической промышленности



# Обзор рынка прямовосстановленного железа (ПВЖ/ГБЖ - DRI/HBI) в мире и России

3 издание

Москва  
июнь, 2021

## Демонстрационная версия

С условиями приобретения полной версии отчета можно ознакомиться на странице сайта по адресу: <http://www.infomine.ru/research/2/515>

**Общее количество страниц: 125 стр.**  
**Стоимость отчета – 96 000 рублей**

Этот отчет был подготовлен экспертами ООО «ИГ «Инфомайн» исключительно в целях информации. Содержащаяся в настоящем отчете информация была получена из источников, которые, по мнению экспертов Инфомайн, являются надежными, однако Инфомайн не гарантирует точности и полноты информации для любых целей. Инфомайн приложил все возможные усилия, чтобы проверить достоверность имеющихся сведений, показателей и информации, содержащихся в исследовании, однако клиенту следует учитывать наличие неустранимых сложностей в процессе получения информации, зачастую касающейся непрозрачных и закрытых коммерческих операций на рынке. Исследование может содержать данные и информацию, которые основаны на различных предположениях, некоторые из которых могут быть неточными или неполными в силу наличия изменяющихся и неопределенных событий и факторов. Кроме того, в ряде случаев из-за погрешности при округлении, различий в определениях, терминах и их толкованиях, а также использования большого числа источников, данные могут показаться противоречивыми. Инфомайн предпринял все меры для того, чтобы не допустить очевидных несоответствий, но некоторые из них могут сохраняться.

Информация, представленная в этом отчете, не должна быть истолкована, прямо или косвенно, как информация, содержащая рекомендации по инвестициям. Все мнения и оценки, содержащиеся в настоящем материале, отражают мнение авторов на день публикации и подлежат изменению без предупреждения. Инфомайн не проводит какую-либо последующую работу по обновлению, дополнению и изменению содержания исследования и проверке точности данных, содержащихся в нем. Инфомайн не несет ответственность за какие-либо убытки или ущерб, возникшие в результате использования любой третьей стороной информации, содержащейся в настоящем отчете, включая опубликованные мнения или заключения, а также последствия, вызванные неполнотой представленной информации.

Этот документ или любая его часть не может распространяться без письменного разрешения Инфомайн либо тиражироваться любыми способами. Заказчик имеет право проводить аудит (экспертизу) исследований рынков, полученных от Исполнителя только в компаниях, имеющих членство ассоциации промышленных маркетологов ПРОММАР (<http://www.prommar.ru>) или силами экспертно-сертификационного совета ассоциации ПРОММАР. В других случаях отправка исследований на аудит или экспертизу третьим лицам считается нарушением авторских прав.

Copyright © ООО «ИГ «Инфомайн».

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Аннотация.....</b>	<b>9</b>
<b>Введение .....</b>	<b>11</b>
<b>1. Современное состояние процессов производства ПВЖ (металлизированных окатышей и ГБЖ).....</b>	<b>13</b>
<b>2. Характеристика основных технологических процессов получения ПВЖ/ГБЖ; требования к качеству выпускаемой продукции различных производителей.....</b>	<b>17</b>
2.1 Процесс Midrex .....	18
2.2 Процесс NYL ZR.....	21
2.3 Процесс ITmk3 .....	23
2.4 Процесс COREX.....	25
2.5 Процесс HIs melt .....	27
<b>3. Динамика производства ПВЖ/ГБЖ в мире по основным регионам и странам в 2007-2020 гг.; ведущие страны и компании-производители .....</b>	<b>33</b>
3.1 Мексика.....	40
3.2 Индия.....	43
3.3 Россия.....	48
3.4 Иран.....	59
<b>4. Новые проекты строительства установок ПВЖ/ГБЖ, цены на приобретаемое сырье (экспертная оценка).....</b>	<b>62</b>
<b>5. Глобальная кривая затрат (costcurve) ПВЖ и ГБЖ в 2007-2019 гг., включающая новые проекты (экспертная оценка).....</b>	<b>74</b>
<b>6. Мировая торговля ПВЖ (включая ГБЖ) в 2007-2020 гг. ....</b>	<b>80</b>
6.1 Динамика общемирового экспорта, основные страны-экспортеры .....	81
6.2 Динамика общемирового импорта, основные страны-импортеры.....	89
<b>7. Анализ цен на ПВЖ разных видов (включая ГБЖ) в 2007-2021 гг.; прогноз цен на период до 2030 гг.....</b>	<b>92</b>
<b>8. Потребление ПВЖ в мире в 2007-2020 гг. и его прогноз до 2030 г.....</b>	<b>102</b>
<b>9. Доля ПВЖ в общем объеме сырья для производства стали .....</b>	<b>114</b>
<b>10. Барьеры для вхождения в рынок, рекомендации для нового игрока .</b>	<b>116</b>

<b>Приложение 1. Контактная информация компаний, производящих ПВЖ, осуществляющих строительство и поставки оборудования .....</b>	<b>121</b>
<b>Приложение 2. Контактная информация металлургических предприятий СНГ, имеющих некоторый опыт использования ПВЖ .....</b>	<b>124</b>

## СПИСОК ТАБЛИЦ

- Таблица 1: Химический состав и механические свойства металлизированных окатышей производства ОЭМК
- Таблица 2: Химический состав ГБЖ производства Лебединского ГОКа
- Таблица 3: Требования к химическому составу ПВЖ в Индии, %
- Таблица 4: Химический состав губчатого железа (металлизированных окатышей и ГБЖ), применяемого на заводе EZZ Flat Steel
- Таблица 5: Мировое производство ПВЖ по регионам в 2007-2020 гг., млн т
- Таблица 6: Основные страны-производители ПВЖ в 2007-2020 гг., млн т
- Таблица 7: Основные заводы-производители металлизированного сырья в Мексике
- Таблица 8: Оценка объемов производства металлизированного сырья в Мексике по основным заводам в 2007-2019 гг., млн т
- Таблица 9: Мощности, объемы производства металлизированного сырья (млн т) и использование производственных мощностей (%) в Индии в 2014-2020 гг.
- Таблица 10: Основные заводы-производители металлизированного сырья в Индии
- Таблица 11: Оценка объемов производства металлизированного сырья в Индии по основным заводам в 2007-2019 гг., млн т
- Таблица 12: Динамика производства ПВЖ в России по предприятиям в 2007-2020 гг., млн т
- Таблица 13: Динамика отгрузки ГБЖ Лебединским ГОКом на внутренний и мировой рынки в 2007-2020 гг., млн т
- Таблица 14: Динамика отгрузки ГБЖ Лебединским ГОКом отдельным российским потребителям в 2010-2020 гг., тыс. т
- Таблица 15: Основные заводы-производители металлизированного сырья в Иране
- Таблица 16: Оценка объемов производства металлизированного сырья в Иране по основным компаниям в 2007-2019 гг., млн т
- Таблица 17: Ввод новых мощностей и строительство установок по производству ПВЖ/ГБЖ в 2018-2021 гг.
- Таблица 18: Оценка затрат на производство и приобретаемое сырье по компаниям-производителям металлизированного сырья в 2018 и 2019 гг.
- Таблица 19: Динамика мирового экспорта ПВЖ в 2007-2019 гг., основные экспортеры, тыс. т
- Таблица 20: Динамика экспорта российского ПВЖ по регионам в 2007-2020 гг., тыс. т
- Таблица 21: Направления экспортных поставок ПВЖ из России в 2007-2020 гг., тыс. т
- Таблица 22: Динамика мирового импорта ПВЖ в 2007-2019 гг., основные импортеры, тыс. т
- Таблица 23: Прогноз среднего уровня импортных цен на ГБЖ до 2030 г. при поставках в страны Европы (на примере Италии), \$/т CFR
- Таблица 24: Оценка видимого потребления ПВЖ в мире в 2007-2020 гг., млн т
- Таблица 25: Видимое потребление ПВЖ в Индии в 2007-2020 гг., млн т
- Таблица 26: Видимое потребление ПВЖ в Мексике в 2007-2020 гг., млн т
- Таблица 27: Видимое потребление ПВЖ в С. Аравии в 2007-2019 гг., млн т

Таблица 28: Видимое потребление ПВЖ в России в 2007-2020 гг., млн т

Таблица 29: Прогноз мирового потребления ПВЖ на период до 2030 г., млн т

Таблица 30: Некоторые крупные потребители ПВЖ в мире

Таблица 31: Баланс металлсодержащего сырья при выплавке стали в мире и России в 2020 г., млн т

## СПИСОК РИСУНКОВ

- Рисунок 1: Схема процесса Midrex  
Рисунок 2: Схема процесса HYL ZR  
Рисунок 3: Схема процесса ITmk3  
Рисунок 4: Схема процесса COREX  
Рисунок 5: Плавильный агрегат Hismelt  
Рисунок 6: Схема комплекса установки Hismelt  
Рисунок 7: Мировое производство ПВЖ в 2007-2020 гг., млн т  
Рисунок 8: Доля отдельных технологических процессов в мировом производстве ПВЖ в 2007-2019 гг., %  
Рисунок 9: Доля отдельных регионов в мировом производстве ПВЖ в 2007-2020 гг., %  
Рисунок 10: Производство ПВЖ в Мексике и доля страны в мировом производстве в 2007-2020 гг., млн т, %  
Рисунок 11: Динамика производства металлизированного сырья и выплавка электростали в Мексике в 2007-2020 гг., млн т  
Рисунок 12: Динамика производства ПВЖ и выплавка электростали в Индии в 2007-2020 гг., млн т  
Рисунок 13: Динамика производства ПВЖ в России (млн т) и доля России в мировом производстве (%) в 2007-2020 гг.  
Рисунок 14: Производство металлизированного сырья и отгрузки его на экспорт АО «ОЭМК» в 2007-2020 гг., млн т  
Рисунок 15: Динамика производства ПВЖ в Иране (млн т) и доля страны в мировом производстве (%) в 2007-2020 гг.  
Рисунок 16: Глобальная кривая затрат ПВЖ/ГБЖ по годам  
Рисунок 17: Оценка структуры мировых затрат на производство ПВЖ/ГБЖ в 2007-2019 гг., %  
Рисунок 18: Кривая затрат ГБЖ/ПВЖ по странам в 2019 г. (экспертная оценка)  
Рисунок 19: Динамика мирового экспорта ПВЖ (млн т) и доля России в общемировом экспорте (%) в 2007-2019 гг.  
Рисунок 20: Динамика экспорта ПВЖ из России в натуральном (млн т) и стоимостном выражении (млн \$) в 2007-2020 гг.  
Рисунок 21: Доля отдельных регионов в российском экспорте ПВЖ в 2007-2020 гг., %  
Рисунок 22: Импортные цены на ГБЖ и чугун (CFR), внутренние цены на дробленый лом на спотовом рынке Италии в 2007-2021 гг., \$/т  
Рисунок 23: Спотовые цены на ГБЖ на мировом рынке в 2007-2021 гг., \$/т  
Рисунок 24: Прогноз среднего уровня импортных цен на ГБЖ при поставках в страны Европы (на примере Италии) до 2030 г., \$/т CFR  
Рисунок 25: Потребление ПВЖ в Индии в 2007-2020 гг. (млн т), доля страны в мировом потреблении (%)  
Рисунок 26: Потребление ПВЖ в Иране в 2007-2019 гг. (млн т), доля страны в мировом потреблении (%)  
Рисунок 27: Потребление ПВЖ в Мексике (млн т), доля страны в мировом потреблении (%)

Рисунок 28: Потребление ПВЖ в С. Аравии (млн т), доля страны в мировом потреблении (%)

Рисунок 29: Потребление ПВЖ в России (млн т), доля страны в мировом потреблении (%)



## Аннотация

Настоящий отчет является **третьим изданием** исследования рынка прямовосстановленного железа (ПВЖ).

**Цель исследования** – анализ рынка ПВЖ/ГБЖ в мире, охватывающий период с 2007 по 2020 г.

Особенностью данного отчета является анализ производства ПВЖ в России, а также предоставление информации об основных процессах получения ПВЖ.

**Объектом исследования** является прямовосстановленное железо.

Данная работа представляет собой **кабинетное исследование**. В качестве **источников информации** использовались данные Федеральной службы государственной статистики РФ (Росстат), статистики железнодорожных перевозок РФ, Федеральной таможенной службы РФ; базы данных ООН, базы данных «Инфолайн», данные «Midrex». Также были привлечены данные отраслевой и региональной прессы, годовых и квартальных отчетов эмитентов ценных бумаг, интернет-сайтов компаний производящих и потребляющих ПВЖ.

**Хронологические рамки исследования:** 2007-2020 гг., прогноз до 2030 г.

**География исследования:** Мир в целом, Россия, Индия, Мексика.

**Объем исследования:** отчет состоит из **10** частей, содержит **125** страниц, в том числе **31** таблицу, **29** рисунков и **2** приложения.

**Первая глава** исследования посвящена анализу современного состояния производства ПВЖ с выделением основных процессов его выпуска, формы продукта. Также в главе кратко представлены основные направления развития технологии производства ПВЖ.

**Во второй главе** исследования представлена характеристика основных процессов производства ПВЖ, в частности, Midrex (Midrex®, MXCOL®, HOTLINK®) и NYL/Energiron (NYL ZR). Кроме того, даны характеристики технологии производства восстановленного железа процессами жидкофазного восстановления и «гибридным» процессом (ITmk3, COREX, HIs melt). Представлены требования к качеству ПВЖ некоторых производителей.

**Третья глава** исследования посвящена анализу производства ПВЖ в мире по основным технологическим процессам и странам в 2007-2020 гг. Выделены основные регионы и страны по выпуску ПВЖ, а также крупные компании-производители.

**В четвертой главе** исследования перечислен ряд новых проектов по производству ПВЖ, приведены данные по экономике проектов, в том числе инвестиции, уровень операционных затрат и др.

**В пятой главе** исследования проработан вопрос затрат на производство ПВЖ в мире, а также в отдельных странах. Построена глобальная кривая затрат производства ПВЖ в 2007-2019 гг.

**В шестой главе** исследования проанализирована внешняя торговля ПВЖ в мире в период 2007-2020 гг. Выявлена Роль России в мировой торговле металлизированным сырьем.

**В седьмой главе** исследования проанализированы цены на ПВЖ/ГБЖ в мире в 2007-2020 гг., представлен прогноз уровня цен на ГБЖ на период до 2030 г.

**В восьмой главе** исследования представлены данные об объемах потребления ПВЖ в мире и в отдельных странах в 2007-2020 гг., определены основные драйверы, оказывающие влияние на спрос на данный вид продукции, выделены некоторые крупнейшие потребители ПВЖ.

**В девятой главе** исследования показаны роль и место ПВЖ в структуре потребления железосодержащего сырья при выплавке стали.

**В десятой главе** исследования проанализированы барьеры для вхождения на рынок ПВЖ и рекомендации для нового участника рынка.

**В приложениях** к отчету приведены контактные данные некоторых участников рынка ПВЖ и металлургических предприятий СНГ, имеющих опыт использования металлизированного сырья при производстве стали.

**Целевая аудитория исследования:**

- участники рынка ПВЖ – производители и потребители;
- потенциальные инвесторы.

Предлагаемое исследование претендует на роль **справочного пособия** для служб маркетинга и специалистов, принимающих управленческие решения, работающих на данном рынке.

## Введение

Рынок прямовосстановленного железа/горячебрикетированного железа (ПВЖ/ГБЖ) очень важен для многих металлургических предприятий, осуществляющих производство стали, в первую очередь электростали. Вопросы обеспечения производства электростали необходимым металлосодержащим сырьем становятся более актуальными в связи с ограниченным предложением качественного лома на рынке и стагнацией или сокращением объемов мировой торговли ломом черных металлов в целом.

Если металлургические предприятия полного цикла с доменным производством решают вопрос обеспечения своего сталеплавильного комплекса сырьем за счет использования чугуна, оборотного лома и приобретения лома со стороны, то предприятия, производящие сталь в электропечах, вынуждены в основном использовать лом черных металлов.

Один из вариантов решения полноценного обеспечения производства качественных сталей сырьем без наличия значительных примесей – это использование ПВЖ.

Мировое производство ПВЖ в настоящее время расширяется вследствие реализации новых проектов в различных странах, в том числе Иране, Индии, России, США и других.

Выпуск ПВЖ в 2020 г. несколько снизился по сравнению с предыдущими двумя годами (2018 и 2019 гг.) в основном вследствие снижения мировой экономики на фоне пандемии коронавируса, но оказался существенно выше показателей производства в период до 2018 г.

Рост производства и потребления ПВЖ в период до 2019 г. связан с увеличением производства стали, в частности выплавки электростали. Хотя в структуре потребления металлосодержащего сырья при выплавке стали доля ПВЖ остается незначительной. Для повышения роли ПВЖ в производстве стали в перспективе есть значительные возможности.

Данный рынок имеет существенные перспективы развития вследствие различных причин, в том числе принятия странами ЕС энергетических доктрин на период до 2050 г., которыми предусматривается использование водорода и вытеснение газа, нефти и их углеводородных производных из энергетического баланса стран Европы. При этом страны ЕС намерены жестко контролировать выбросы углеродного газа, в том числе в черной металлургии. А производство и использование ПВЖ позволяет существенно снизить эти выбросы. Уже в настоящее время европейские металлургические компании намерены инвестировать значительные средства в разработку новых технологий производства ПВЖ с сокращением выбросов углеродного газа и использованием водорода в качестве восстановителя.

Ожидается существенный рост производства и потребления ПВЖ в мире, в первую очередь в Индии и Иране, планирующих значительное увеличение производства стали. А это позволяет прогнозировать дальнейший рост производства и потребления ПВЖ в мире, в том числе в странах Европы.

Вырастет производство и потребление ПВЖ в России, где недавно на Лебединском ГОКе была введена в эксплуатацию новая установка ГБЖ, а также

осуществляется реализация новых проектов. Постепенно российские металлургические предприятия приходят к пониманию необходимости увеличивать потребление ПВЖ при производстве стали в связи с повышением требований к параметрам стали (по наличию примесей) при выпуске проката и стальных труб.

Трудности могут возникнуть только в случае негативных изменений в мировой экономике в целом или в экономике отдельных регионов и стран.

## 1. Современное состояние процессов производства ПВЖ (металлизированных окатышей и ГБЖ)

Для выплавки стали используют в основном чугуны и лом черных металлов как при ее выпуске в конвертерах, так и в электропечах. Использование прямовосстановленного сырья (ПВЖ) существенно уступает потреблению чугуна и лома. Тем не менее наличие целого ряда факторов определяет постепенное расширение как производства, так и потребления ПВЖ при выплавке стали.

В первую очередь это связано с наличием значительных запасов природного газа при ограниченных запасах углей, выработкой недорогой электроэнергии в ряде регионов, возрастающим дефицитом коксующихся углей и кокса, потребностью в первородном железе, не загрязненном примесями цветных металлов, вследствие повышения требований к качеству стали, ограниченностью ресурсов лома черных металлов гарантированной чистоты и стабильного состава, снижением нагрузки на окружающую среду и др.

В зависимости от температуры процесса металлизации, конечный продукт получается в виде губчатого железа (металлизированного сырья или по-другому прямовосстановленного железа), крицы или жидкого чугуна и наггетсов.

Губчатое железо (железная губка) или прямовосстановленное железо – пористый кусковой или пылевидный продукт, получаемый в твердом виде непосредственно из железной руды, её концентратов или окатышей восстановлением содержащихся в них окислов твердым углеродом при температуре 1200-1250 °С или газообразными восстановителями  $H_2$  и  $CO$  (при температуре 850-900 °С). В любом случае ПВЖ содержит включения, которые удаляются только в сталеплавильных печах.

При этом необходимо выделить несколько особенностей процессов производства ПВЖ.

Исходя из условий экономичности сталеплавильного процесса (минимальное количество шлака), предъявляются жесткие требования к содержанию пустой породы в исходном железорудном сырье (не более 3,0-3,5%). Для этого содержание железа в исходном сырье должно быть не менее 69-70%.

Многие вредные примеси (сера, фосфор и др.) за счет низкой температуры процесса практически полностью переходят в металлизированный продукт. Для получения качественной стали без значительных перерасходов энергии требуется низкое содержание вредных примесей в ПВЖ. Т.е. их содержание в исходном сырье также должно быть низким (<0,01-0,02%).

Содержание таких примесей, как никель, хром, кобальт и др. также должно быть ограниченным, так как для выплавки отдельных марок сталей они являются нежелательными. В общем случае наиболее благоприятным железорудным сырьем для производства ПВЖ является богатый по железу и чистый по любым примесным элементам железорудный материал.

Низкие по сравнению с производством чугуна температуры протекания процесса приводят к меньшей удельной производительности агрегатов. Высокая годовая производительность достигается путем увеличения размеров установок.

В процессах получения ПВЖ могут быть использованы различные виды топлива: только твердое, только газообразное, комбинация твердого и газообразного топлива. В настоящее время прорабатываются технологии использования смеси природного газа и водорода или водорода. Но это в перспективе.

Доля железа прямого восстановления в шихте электропечи может достигать 100%, что позволяет полностью отказаться от дополнительных закупок лома.

ПВЖ поставляется потребителям в различных формах (куски, окатыши, горячебрикетированное сырье), но в основном в виде металлизированных окатышей и горячебрикетированного железа, т.е. прямовосстановленного железа (ПВЖ).

В настоящее время производятся в основном три формы металлизированных продуктов с общим названием DRI (direct reduction iron) – прямовосстановленное железо или металлизированное сырье.

В зависимости от технологии производства и области применения они имеют следующие названия:

- холодный металлизированный продукт (CDRI – cool direct reduction iron);
- горячебрикетированное железо (HBI – hot briquet iron);
- горячий металлизированный продукт (HDRI – hot direct reduction iron).

CDRI – наиболее широко выпускаемый продукт прямого восстановления железа. Представляет собой восстановленные окатыши и кусковой материал, охлажденные до 50 °С. Обычно хранится для последующего использования в электродуговых печах, находящихся неподалеку от установок прямого восстановления. Размеры окатышей или кускового материала – в основном в пределах 4-20 мм.

HBI – брикетированный продукт, максимально приспособленный для хранения и дальней транспортировки. Для производства HBI горячий металлизированный продукт выгружается из шахтных печей при температуре 700 °С и прессуется в брикеты в форме подушек, обычный размер которых 30x50x110 мм. Плотность HBI на 50% выше, чем у металлизированных окатышей и кускового материала, что снижает возможность повторного окисления.

HDRI – продукт, выгружаемый из шахтной печи в горячем виде (при температуре примерно 650 °С). Непосредственно подается в электродуговую печь для плавки.

Крица – твёрдая губчатая масса железа со шлаковыми включениями, заполняющими поры и полости, получаемая непосредственно из руды путём её восстановления при температуре 1250-1350 °С углем во вращающихся трубчатых печах. В отличие от процессов получения ПВЖ кричный процесс осуществляется при более высокой температуре, при которой пустая порода частично расплавляется, образуя вязкий тестообразный шлак. В шлак включены частицы металла, укрупняющиеся при вращении печи по ходу процесса. Использование железных руд с содержанием железа более 35-40% исключается, т.к. для протекания процесса образования крицы необходимо большое количество шлака. В

связи с неэкономичностью и неудовлетворительным качеством продукции кричный процесс утратил промышленное значение.

Процессы жидкофазного восстановления осуществляются в печах металлизации путём восстановления руды углем при температуре около 1500 °С. За счёт этого достигается очень высокая скорость восстановления железа и продукт с более высоким качеством по примесям по сравнению с ПВЖ и крицей.

Данные технологические процессы имеют свои отличительные особенности (по сравнению с получением ПВЖ), в том числе:

- возможность использования железорудного сырья с низким содержанием железа, так как вся пустая порода удаляется из исходного продукта в шлак. При снижении содержания железа в сырье увеличивается расход топлива и себестоимость продукта, однако это не влияет на дальнейшую технологию его переработки в сталеплавильном агрегате;

- вредные примеси исходного сырья (сера, цинк, в некоторых агрегатах фосфор и др.) частично удаляются из продукта и переходят в шлак либо, вследствие высокой температуры, газифицируются;

- температура процесса обеспечивает высокие скорости всех металлургических реакций и, как следствие, большую удельную производительность агрегатов;

- поддержание высокой температуры в агрегате требует либо применения кислородного дутья и строительства мощной кислородной станции (процессы COREX, Romelt) либо подогрева воздушного дутья и строительства воздухонагревателей (процесс Hismelt).

Кроме того, существуют так называемые «гибридные процессы». Несмотря на то, что во многих процессах жидкофазного восстановления железа используют отдельные стадии предварительного восстановления руды, были разработаны процессы, в которых происходит прямое восстановление оксидов железа углеродом, растворенным в металле, и не связанное, таким образом, с пустой породой угля, на использовании которого базируется процесс.

К таким процессам можно отнести, в частности, технологию  $Itkm^3$ . Восстановление осуществляется на вращающемся поду печи при высоких температурах с получением расплавленных чугуновых гранул (нагтетсов).

Процессы получения железа из рудных материалов без применения доменной технологии существуют, по оценкам некоторых аналитиков, сотни лет. Различают процессы получения твердого ПВЖ и жидкого металла (жидкофазного восстановления).

Процессы производства ПВЖ и металла жидкофазного восстановления существуют уже много лет, но они все еще не могут в полной мере конкурировать с доменным процессом.

Но периодически интерес к процессам прямого получения железа обострялся, что привело к появлению десятков технологий.

В первой половине прошедшего столетия было отмечено развитие процессов получения губчатого железа в тиглях (Hoganas), в шахтных печах (Wiberg) и

во вращающихся печах (Krupp) с использованием угля в качестве восстановителя. С конца 50-х годов прошедшего столетия появились разработки процессов получения ПВЖ в стационарных ретортах (HYL I) и в реакторах со взвешенным слоем (FIOR) с использованием газа в качестве восстановителя.

В 70-е годы XX века появилось более десяти процессов получения ПВЖ в шахтных печах с использованием восстановительного газа, широкое промышленное применение из которых нашли только два (процессы Midrex и HYL).

Затем появились разработки процессов получения ПВЖ с использованием угля в качестве восстановителя во вращающихся подовых печах (процессы FASTMET, INMETCO), более совершенные процессы со взвешенным слоем (FINMET) и процессы в шахтных печах с самореформингом природного газа (HYL III).

Процессов жидкофазного восстановления железа значительно меньше. Сначала появились технологии восстановления железа во вращающихся печах (Basset, Struzerlberg, SL/RN), а затем в стационарных реакторах с использованием угля или природного газа (Cyclosteel, Jet Smelting). Кроме того, были разработаны процессы с использованием угля и электричества (Elred, Inred, Plasmasmelt), а также двухстадийные процессы, использующие уголь, наиболее известным из которых является процесс COREX.

В 80-е годы прошедшего столетия были разработаны несколько процессов для производства жидкофазного металла без применения кокса при небольшой производительности (0,5–1,0 млн т в год), в основном двухстадийных – DIOS, HIs melt, CCF, AISI.

В настоящее время насчитывается более 100 различных процессов бездомного получения чугуна (процессы жидкофазного восстановления) и ПВЖ, под которым понимаются в основном металлизированные окатыши (DRI – direct reduced iron) и горячебрикетированное железо (HBI – hot briquetted iron), т.е. металлизированные окатыши, подвергнутые брикетированию для их отгрузки в виде товарной продукции. Эти процессы отличаются типами используемых агрегатов, видом используемого топлива и железорудного сырья.

Несмотря на большое разнообразие процессов прямого восстановления железа в мире основными при получении губчатого железа стали процессы **Midrex и HYL**, использующие в качестве сырья окатыши и/или кусковую руду.



## 2. Характеристика основных технологических процессов получения ПВЖ/ГБЖ; требования к качеству выпускаемой продукции различных производителей

В предыдущем разделе было отмечено, что в мире существует большое число процессов получения ПВЖ. Но основными являются процессы **Midrex** и **HYL**. Кроме того, необходимо учитывать и процессы получения наггетсов, которые по своим параметрам близки к чугунам. Отличительной особенностью ПВЖ и наггетсов является их качественные показатели (по чистоте химического состава и отсутствию значительных примесей). Это позволяет использовать ПВЖ и наггетсы в электропечах, а также конвертерах при получении качественных сталей. Частично они могут использоваться в шихте доменных печей. ПВЖ могут использовать в доменных печах для увеличения их производительности и уменьшения расхода кокса. Это особенно выгодно для предприятий в периоды, когда они имеют ограниченные мощности по чугуну, и требуется производить большое количество стали. Использование в шихте доменных печей некоторого количества ПВЖ приводит к увеличению производительности доменной печи и снижению расхода кокса.

Так, содержание железа в наггетсах составляет порядка 94-97% (в зависимости от процесса) при низком содержании S, P, Si. При этом марганец в наггетсах был отмечен только при получении процессом ITmk3, но не более 0,1%. Наличие примесей цветных металлов крайне нежелательно.

В целом химический состав наггетсов приближается к химическому составу чугуна, хотя содержание марганца или отсутствует, или является минимальным.

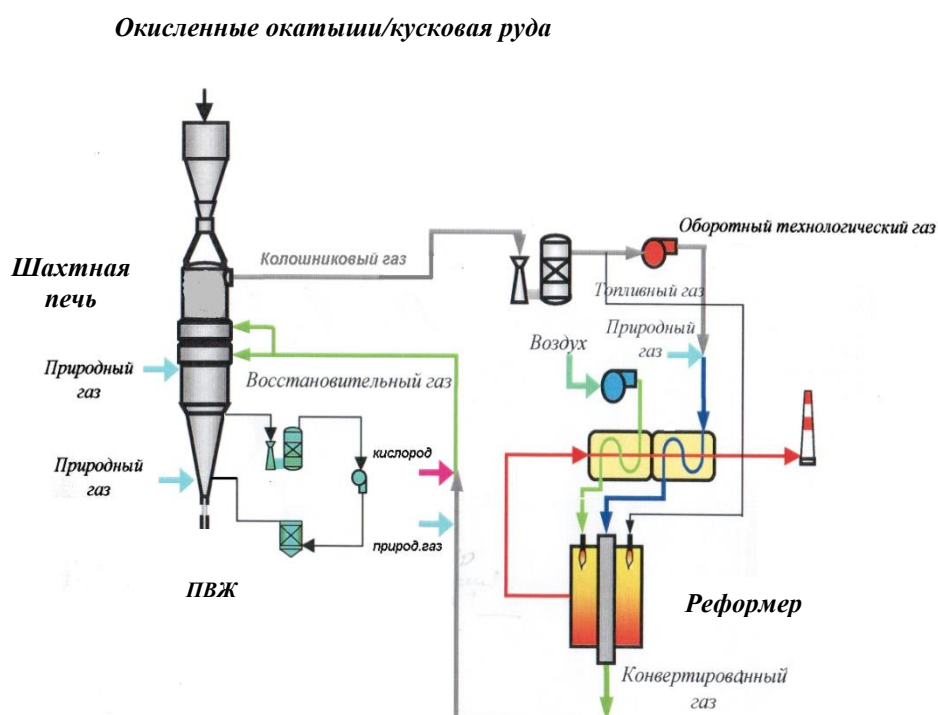
Степень металлизации ПВЖ также очень высока и составляет 92-94%, а наличие примесей также крайне незначительно, особенно это касается примесей цветных металлов и марганца.

## 2.1 Процесс Midrex

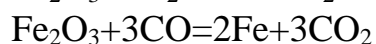
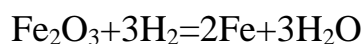
Наибольшее распространение в мире получил процесс Midrex (рис. 1), на долю которого приходится около 60% всех производственных мощностей по производству металлизированного сырья в мире. На установках Midrex различной конфигурации производят более 63% всего металлизированного сырья в мире и 80% продукции, получаемой в шахтных печах.

Общие мощности установок Midrex в мире превышают XX млн т в год. При этом напомним, что первая промышленная установка, которая выпускала металлизированное сырье по данной технологии производительностью XX тыс. т в год, была введена в эксплуатацию в 1969 г. на заводе в Portland (США).

Рисунок 1: Схема процесса Midrex



Процесс восстановления железа по технологии Midrex основан на извлечении химически связанного кислорода из окислов железа восстановительным газом, который вырабатывается в реформере из смеси оборотного технологического и свежего природного газов. Суммарными восстановительными реакциями являются:



Реакции восстановления происходят в шахтной печи при температуре 800-850 °С.