



ИнфоМайн 

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

Обзор рынка водорода в России

*Издание 2-ое,
дополненное и переработанное*

Демонстрационная версия

**Москва
июнь, 2011**

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация.....	9
Введение	11
I. Технология производства водорода	16
I.1. Способы производства водорода	16
I.2. Производство водорода на местах	18
I.2.1. Оборудование для производства водорода на местах	18
I.2.2. Поставщики оборудования для производства водорода на местах... 19	
I.2.2.1. Поставщики оборудования для производства электролитического водорода	19
ОАО "Уралхиммаш" (Екатеринбург)	19
ООО "Институт физико-технологических исследований", Балашиха, Московская обл.	26
Прочие производители электролитического оборудования	31
I.2.2.2. Разработчики оборудования для производства водорода методом конверсии природного газа	33
ООО "ФАСТ Инжиниринг", (Москва).....	33
ЗАО "НПП "Машпром" (Екатеринбург).....	36
I.2.3. Поставщики оборудования для извлечения водорода из технологических потоков.....	40
ЗАО "Грасис" (Москва)	40
I.2.4. Зарубежные производители оборудования.....	43
I.2.5. Оборудование для компримирования водорода	50
I.2.6. Нормативная база на компримирование водорода.....	54
II. Производство водорода в России	59
II.1. Требования к качеству водорода различных марок.....	59
II.1.1. Водород технический газообразный.....	59
II.1.2. Водород газообразный чистый	62
II.1.3. Водород особо чистый; водород технический повышенной чистоты	65
II.2. Динамика производства водорода в России.....	66
II.3. Основные производители водорода на российском рынке.....	69
II.4. Основные поставщики водорода на российский рынок.....	86
III. Структура цен на водород	94
III.1. Стоимость производства.....	94
III.2. Цены поставщиков водорода	99
III.3. Стоимость транспортировки.....	100
III.4. Стоимость хранения	103

IV. Потребление водорода в России.....	104
IV.1. Объемы и структура потребления водорода	104
IV.2. Основные потребители водорода на российском рынке	107
IV.2.1. Потребители водорода в химической промышленности	108
IV.2.2. Потребители водорода в нефтепереработке	119
IV.2.3. Потребители водорода в металлургии	126
IV.2.4. Потребители водорода при производстве поликристаллического кремния	133
IV.2.5. Потребители водорода в электронной и электротехнической промышленности.....	140
IV.2.6. Потребители водорода в стекольной промышленности	143
IV.2.7. Потребители водорода в пищевой промышленности	147
IV.2.8. Потребители водорода в электроэнергетике	149
IV.2.9. Прочие потребители водорода.....	150
V. Транспортировка водорода в пределах России.....	155
V.1. Способы транспортировки водорода.....	155
V.2. География и объемы перевозок	159
VI. Хранение водорода	162
VII. Прогноз производства и потребления водорода до 2015 г.	166
Приложение 1: Адресная книга предприятий-производителей водорода.	168
Приложение 2: Адресная книга предприятий-поставщиков водорода	169

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица 1: Выборочные свойства нормального водорода и параводорода, имеющие отношение к его безопасности	12
Таблица 2: Сравнительные характеристики электролизеров для производства водорода	18
Таблица 3: Технические характеристики отечественных промышленных электролизеров СЭУ	20
Таблица 4: Комплектность поставки электролизеров типа СЭУ (количество на один электролизер).....	22
Таблица 5: Комплектность поставки электролизных установок типа БЭУ (количество на один электролизер)	23
Таблица 6: Технические характеристики отечественных промышленных электролизеров БЭУ и ФВ.....	23
Таблица 7: Комплектность поставки электролизных установок типа ФС.....	29
Таблица 8: Предприятия, в которые поставлены установки ФС-525 и ФС-525М, производства ООО "ИФТИ"	30
Таблица 9: Краткие технические характеристики генератора водорода "ЭЛДИС-130"	32
Таблица 10: Технические характеристики установки конверсии природного газа УВР-250 (НПП "Машпром")	38
Таблица 11: Технические характеристики мембранных водородных установок ООО "Грасис"	41
Таблица 12: Технические характеристики адсорбционных водородных установок ООО "Грасис"	42
Таблица 13: Технические характеристики атмосферного электролизера производства компании Norsk Hydro Electrolysers	45
Таблица 14: Технические характеристики поршневых компрессоров типа 6ГШ	51
Таблица 15: Технические характеристики поршневого компрессора 2ГМ4-9,6/161	52
Таблица 16: Технические характеристики поршневых компрессоров фирмы ComAir	53
Таблица 17: Норма для водорода технического газообразного (согласно ГОСТ 3022-80)	59
Таблица 18: Норма для водорода чистого газообразного (согласно ГОСТ Р 51673-2000)	62
Таблица 19: Показатели качества водорода особо чистого (ОСЧ) по ТУ 2118-06-18136415-05.....	65
Таблица 20: Показатели качества водорода технического повышенной чистоты (ТПЧ) по ТУ 2118-05-18136415-05	65
Таблица 21: Показатели экономического роста в Российской Федерации в сравнении с предыдущим годом в 2003-2010 гг., %	66
Таблица 22: Производство водорода по отраслям в 2004-2010 гг., тыс. т	67

Таблица 23: Производители товарного водорода	70
Таблица 24: Потребители водорода, производства ОАО "Новосибирский завод химконцентратов", в 2002-2010 гг., кг	72
Таблица 25: Поставщики водорода в баллонах.....	86
Таблица 26: Стоимость услуг ООО "ПГС-Сервис"	88
Таблица 27: Стоимость водорода, реализуемого ООО "Мониторинг"	89
Таблица 28: Стоимость услуг ООО "Уралкриогаз"	90
Таблица 29: Стоимость услуг ООО "Технические газы"	91
Таблица 30: Стоимость услуг НИИ КМ.....	92
Таблица 31: Себестоимость производства технического водорода различными методами, руб./кг	94
Таблица 32: Себестоимость получения водорода конверсией природного газа на установке малой производительности по способу "Фаст Инжиниринг"	95
Таблица 33: Калькуляция себестоимости газообразного технического водорода, полученного электролизом воды на 01.05.06	95
Таблица 34: Цена газообразного очищенного водорода на 01.05.06.....	96
Таблица 35: Цена жидкого водорода.....	97
Таблица 36: Цены поставщиков водорода в баллонах	99
Таблица 37: Удельная стоимость трубопроводного транспортирования газообразного водорода при давлении 7МПа.....	100
Таблица 38: Стоимость услуг торговых компаний по доставке водорода, июнь 2011	102
Таблица 39: Стоимость баллонов для хранения водорода	103
Таблица 40: Производство аммиака и водорода в России в 2004-2010 гг., тыс. т	109
Таблица 41: Производство метанола и водорода в России в 2004-2010 гг., тыс. т	111
Таблица 42: Производство бутиловых спиртов и водорода в России в 2004-2010 гг., тыс. т.....	113
Таблица 43: Производство капролактама и водорода в России в 2004-2010 гг., тыс. т	113
Таблица 44: Производство электролитической каустической соды (тыс. т) и водорода (т) в России в 2004–2010 гг.....	116
Таблица 45: Производство синтетической соляной кислоты (тыс. т) и потребление водорода (т) в России в 2004–2010 гг.	117
Таблица 46: Производство анилина и потребление водорода в России в 2004-2010 гг., тыс. т.....	118
Таблица 47: Баланс водорода при неглубокой переработке нефти, тыс. т в год 100%-ного водорода	119
Таблица 48: Каталитическое риформирование сырья и выход водорода на НПЗ России в 2004-2009 гг., тыс. т	120
Таблица 49: НПЗ России, имеющие дополнительные установки по производству водорода	122

Таблица 50: Планируемое потребление водорода на технологических установках Комсомольского НПЗ	125
Таблица 51: Производство металлизированного сырья и потребление водорода в России в 2004-2010 гг., тыс. т	127
Таблица 52: Объемы производства холоднокатаного проката и потребление водорода в России в 2004-2010 гг., тыс. т.....	129
Таблица 53: Условия проведения термической обработки холоднокатаного проката.....	130
Таблица 54: Производство листового float-стекла в РФ в 2004-2010 гг. (в натуральном исчислении, млн м ²) и потребление водорода, т.....	144
Таблица 55: Производство саломаса и водорода в РФ в 2002, 2005-2009 гг....	148
Таблица 56: Технические характеристики железнодорожной и автомобильной цистерны для перевозки жидкого водорода	158
Таблица 57: Объемы перевозок водорода в баллонах ж/д транспортом в 2002-2010 гг., шт.	159

СПИСОК РИСУНКОВ

Рисунок 1: Электролизеры для получения водорода, производства ОАО "Уралхиммаш"	20
Рисунок 2: Установок УВР-250, разработанная ЗАО НПП "Машпром"	37
Рисунок 3: Поршневой компрессор типа 6ГШ	52
Рисунок 4: Поршневой компрессор типа 2ГМ.....	53
Рисунок 5: Динамика производства водорода в России в 2004 -2010 гг., тыс. т	66
Рисунок 6: Изменение структуры производства водорода в 2004-2010 гг., % ...	68
Рисунок 7: Блок-схема производства жидкого водорода ФГУП "Ниихиммаш"	76
Рисунок 8: Зависимость цены от выработки газообразного водорода.....	96
Рисунок 9: Зависимость цены от выработки жидкого водорода.....	97
Рисунок 10: Динамика железнодорожных тарифов на перевозку водорода в баллонах ОАО "НЗХК", в 2002-2010 гг., руб./т	101
Рисунок 11: Динамика железнодорожных тарифов на перевозку водорода в баллонах ОАО "ЛиндеГазРус" и ЗАО "Лентехгаз", в 2002-2004 гг., руб./т	101
Рисунок 12: Баланс производства и потребления водорода в России	104
Рисунок 13: Структура потребления водорода в 2010 г., %	106
Рисунок 14: Автореципиент для перевозки водорода в сжатом состоянии.....	156
Рисунок 15: Прогноз потребления водорода в России до 2015 г., млн т	167

Аннотация

Данное исследование посвящено анализу рынка водорода в России. Отчет состоит из 4 частей, содержит 169 страниц, в том числе 15 рисунков, 57 таблиц и 2 приложения.

Методологически работа выполнялась в 2 этапа – "кабинетные" исследования и "полевая" деятельность. На первом этапе были проанализированы многочисленные источники информации, прежде всего данные государственных органов – Федеральной службы государственной статистики РФ (ФСГС РФ), статистика железнодорожных перевозок РФ. Также были привлечены данные предприятий, использована база данных "ИнфоМайн", материалы СМИ и Интернета.

На втором этапе обобщенные данные подтверждались и уточнялись путем телефонных опросов и личных интервью специалистов рассматриваемых в этом отчете компаний.

С 2010 г. в ФСГС РФ появились данные о производстве водорода. Однако, эти данные не отражают реальный объем производства продукта, т.к. большинство предприятий не отчитываются. Общий объем производства водорода можно оценить лишь по косвенным показателям, связанным с выпуском таких соединений как, аммиак, метанол, продуктов нефтехимии, нефтепереработки; потребления в металлургии, в стекольном производстве и других отраслях промышленности.

Структура данного отчета выглядит следующим образом:

Во введении рассмотрены физические и химические свойства водорода.

I глава отчета посвящена технологии производства водорода. В ней рассмотрены способы производства водорода, оборудование для его производства, разработчики и поставщики оборудования (российские и зарубежные).

Во II главе отражено производство водорода в России. В данном разделе приведены качественные показатели получаемой продукции. Дана характеристика тех немногочисленных предприятий, которые вырабатывают водород с целью поставок его на внутренний рынок, т.е. товарный водород, а также изучены специализированные газовые компании, занимающиеся продажей водорода.

В III главе рассмотрена структура цен на водород: стоимость производства, транспортировки, хранения. Даны цены поставщиков водорода.

IV глава посвящена потреблению водорода в России. В ней рассмотрены объемы и структура потребления водорода. В данной главе представлены сводные таблицы по объемам потребления водорода за последние семь лет (2004-2010 гг.) по отраслям и предприятиям, а также дано описание водородных проектов, реализуемых в настоящее время в российских компаниях.

Внешняя торговля водородом практически не ведется, т.к. отсутствует сеть водородопроводов. Существуют лишь небольшие поставки газа в

баллонах, не оказывающие заметного влияния на внутренний рынок. Поэтому раздел, посвященный экспорту-импорту водорода, в данной работе отсутствует.

V и VI главы посвящены вопросам транспортировки и хранению водорода.

В VII главе приводится прогноз производства и потребления водорода в России до 2015 года.

В приложениях приведены адресные книги основных предприятий-производителей водорода и предприятий-поставщиков водорода.

Введение

Водород – бесцветный газ без вкуса и запаха, слабо растворимый в воде (2:100 по объему). Он легко воспламеняется при поджигании и на воздухе горит бледно-голубым, почти невидимым пламенем.

Природный водород состоит из смеси 2 устойчивых изотопов: лёгкого водорода, или протия (1H), и тяжёлого водорода, или дейтерия (2H , или D). В природных соединениях водорода на 1 атом 2H приходится в среднем 6800 атомов 1H . Искусственно получен радиоактивный изотоп – сверхтяжёлый водород, или тритий (3H , или T), с мягким β -излучением и периодом полураспада $T_{1/2} = 12,262$ года. В природе тритий образуется, например, из атмосферного азота под действием нейтронов космических лучей; в атмосфере его ничтожно мало ($4 \cdot 10^{-15}\%$ от общего числа атомов водорода). Получен крайне неустойчивый изотоп 4H . Массовые числа изотопов 1H , 2H , 3H и 4H , соответственно 1, 2, 3 и 4, указывают на то, что ядро атома протия содержит только 1 протон, дейтерия – 1 протон и 1 нейтрон, трития – 1 протон и 2 нейтрона, 4H – 1 протон и 3 нейтрона. Большое различие масс изотопов водорода обуславливает более заметное различие их физических и химических свойств, чем в случае изотопов других элементов.

Водород наиболее легкий химический элемент, он в 14,38 раз легче воздуха. Будучи самым легким газом, водород обладает наибольшей скоростью диффузии. Этим же обусловлена и его высокая теплопроводность, которая при нормальной температуре и атмосферном давлении примерно в 7 раз выше теплопроводности воздуха. На этом свойстве основано применение водорода для охлаждения турбоэлектродвигателей.

Молекулы H_2 настолько малы, что способны легко проходить не только через мелкие поры, но и сквозь металлы. Некоторые из них, например, никель, могут поглощать большое количество водорода и удерживать его в атомарном виде в пустотах кристаллической решетки. Водород хорошо растворим во многих металлах, лучше всего в палладии. Нагретая до 250°C палладиевая фольга свободно пропускает водород; этим пользуются для тщательной очистки его от других газов.

Водород может находиться в орто- и пара- состояниях. Ортоводород ($o\text{-H}_2$) имеет параллельную (одного знака) ориентацию ядерных спинов, параводород ($p\text{-H}_2$) – антипараллельную. Это обуславливает некоторое различие магнитных, оптических и термических свойств указанных модификаций. При обычных и высоких температурах нормальный водород ($n\text{-H}_2$) представляет собой смесь 75% орто- и 25% пара- модификаций (3:1), которые могут взаимно превращаться друг в друга (орто-пара- превращения). При превращении $o\text{-H}_2 \leftrightarrow p\text{-H}_2$ выделяется тепло (1418 Дж/моль).

Самопроизвольное орто-пара- превращение водорода при низкой температуре происходит очень медленно, что позволяет получать жидкий водород, близкий по орто-пара- составу к $n\text{-H}_2$, хотя термодинамически устойчив при этих условиях только $p\text{-H}_2$.

В таблице 1 представлены выборочные свойства нормального водорода и параводорода, имеющие отношение к его безопасности.

Таблица 1: Выборочные свойства нормального водорода и параводорода, имеющие отношение к его безопасности

Свойства	Нормальный водород	Параводород
Свойства при нормальной температуре и давлении (NTP)		
Температура, $^{\circ}\text{K}$	293,15	293,15
Давление (абсолют.), КПа	101,325	101,325
Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	0,08376	0,08376
Удельная теплоемкость при постоянном давлении (C_p), $\text{кДж}/\text{кг}\cdot^{\circ}\text{K}$	14,33	14,89
Показатель адиабаты (C_p/C_v)	1,416	1,383
Энтальпия, $\text{кДж}/\text{кг}$	4129,1	4097,7
Внутренняя энергия, $\text{кДж}/\text{кг}$	2919,5	2888,0
Энтропия, $\text{кДж}/\text{кг}\cdot^{\circ}\text{K}$	70,251	64,437
Скорость звука, $\text{м}/\text{с}$	1294	1294
Вязкость, $\text{мПа}\cdot\text{с}$	8,81	8,81
Теплопроводность, $\text{мВт}/\text{м}\cdot^{\circ}\text{K}$	183,8	191,4
Тепло преобразования нормального водорода в параводород при 300°K , $\text{кДж}/\text{кг}$	27,56	-
Коэффициент объемного расширения, $^{\circ}\text{K}^{-1}$	0,00333	0,00333
Свойства в критической точке (critical point CP)		
Температура, $^{\circ}\text{K}$	33,19	32,976
Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	30,12	31,43
Скрытая теплота парообразования, $\text{кДж}/\text{кг}$	0	0
Удельная теплоемкость при постоянном давлении (C_p), $\text{кДж}/\text{кг}\cdot^{\circ}\text{K}$	Очень большая	Очень большая
Показатель адиабаты (C_p/C_v)	Большая	Большая
Энтальпия, $\text{кДж}/\text{кг}$	577,4	38,5
Внутренняя энергия, $\text{кДж}/\text{кг}$	-	2,8
Энтропия, $\text{кДж}/\text{кг}\cdot^{\circ}\text{K}$	27,07	17,6
Скорость звука, $\text{м}/\text{с}$	-	350
Вязкость, $\text{мПа}\cdot\text{с}$	(3,5)	3,5
Теплопроводность, $\text{мВт}/\text{м}\cdot^{\circ}\text{K}$	Аномально большая	Аномально большая
Свойства при нормальной точке кипения (NBP)		
Температура, $^{\circ}\text{K}$	20,930	20,268
Давление (абсолютное), кПа	101,325	101,325
Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	г	1,331
	ж	70,96
Скрытая теплота парообразования, $\text{кДж}/\text{кг}$		446,0
Удельная теплоемкость при постоянном давлении (C_p), $\text{кДж}/\text{кг}\cdot^{\circ}\text{K}$	г	12,20;
	ж	9,772
Показатель адиабаты (C_p/C_v)	г	1,683
	ж	1,698
Энтальпия, $\text{кДж}/\text{кг}$	г	717,98
	ж	272,0
		189,3
		-256,3

Свойства		Нормальный водород	Параводород
Внутренняя энергия, кДж/кг	Г	641,9	113,6
	Ж	270,7	-257,7
Энтропия, кДж/кг·°К	Г	39,16	29,97
	Ж	17,32	7,976
Скорость звука, м/с	Г	357	355
	Ж	1101	1093
Вязкость, мПа·с	Г	1,1	1,1
	Ж	13,2	13,2
Теплопроводность, мВт/м·°К	Г	16,9	16,9
	Ж	99,0	99,0
Коэффициент объемного расширения, °К ⁻¹	Г	0,0642	0,0642
	Ж	0,0164	0,0164
Тепло преобразования нормального водорода в параводород, кДж/кг		527,14	-
Свойства в тройной точке (triple point TP)			
Температура, °К		13,957	13,803
Давление (асолют.), кПа		7,205	7,042
Плотность, кг/м ³	Г	0,1298	0,1256
	Ж	77,21	77,021
	Т	86,71	86,50
Удельная теплоемкость при постоянном давлении (Cp), кДж/кг·°К	Г	10,53	10,52
	Ж	6,563	6,513
	Т	-	-
Показатель адиабаты (Cp/Cv)	Г	1,695	1,693
	Ж	1,388	1,382
	Т	-	-
Скрытая теплота парообразования, кДж/кг		452,0	449,2
Скрытая теплота плавления, кДж/кг		58,09	58,29
Скрытая теплота сублимации, кДж/кг		-	507,39
Энтальпия, кДж/кг	Г	669,67	140,3
	Ж	217,6	-308,9
	Т	159,5	-367,2
Внутренняя энергия, кДж/кг	Г	612,52	84,23
	Ж	215,8	-309,0
	Т	157,7	-367,3
Энтропия, кДж/кг·°К	Г	46,4	37,52 (Г); 4,961 (Ж);
	Ж	14,2	
	Т	10,1	0,739 (Т)
Скорость звука, м/с	Г	307	305
	Ж	1282	1273
	Т	-	-
Вязкость, мПа·с	Г	0,74	0,74
	Ж	26,0	26,0
	Т	-	-
Теплопроводность, мВт/м·°К	Г	12,4	12,4
	Ж	73,0	73,0

Свойства		Нормальный водород	Параводород
	T	900	900
Коэффициент объемного расширения, $^{\circ}\text{K}^{-1}$	Г	0,0752	0,0752
	ж	0,0102	0,0102
	T	-	0,00494
Другие свойства			
Молекулярная масса		2,01594	2,01594
Эквивалент объем газа при NTP/ объем жидкости при NBP		847,1	845,1
Эквивалент объем газа при CP/ объем жидкости при NBP		2,357	2,252
Эквивалент объем газа при NBP/ объем жидкости при NBP		53,30	52,91
Эквивалент объем газа при TP/ объем жидкости при NBP		546,3	563,8
Эквивалент объем жидкости при TP/ объем жидкости при NBP		0,9190	0,9190
Эквивалент объем твердого вещества при TP/ объем жидкости при NBP		0,8184	0,8181
Давление, необходимое для поддержания плотности жидкости при NBP GH_2 (фиксированный объем, при отсутствии вентилирования), МПа			172 ^b
Максимальная температура инверсии Джоуля – Томсона, $^{\circ}\text{K}$			200
Коэффициент диффузии в воздухе при NTP, cm^2/c			0,61
Скорость диффузии в воздухе при NTP, cm/c			$\leq 2,0$
Скорость плаваемости в воздухе при NTP, m/c			от 1,2 до 9
Скорость парообразования (в стабильном состоянии) из жидкости без горения, mm/c			от 0,42 до 0,83

Источник: научно-техническая литература

Сжижение водорода происходит при температуре -253°C . Получается бесцветная жидкость – самая легкая из всех известных (жидкий водород в 14 раз легче воды). Низкая температура жидкого водорода обуславливает затвердевание в его среде почти всех газов, кроме гелия. При -259°C жидкий водород замерзает, превращаясь в бесцветные кристаллы.

Водород имеет двойственную химическую природу, проявляя как окислительную, так и восстановительную способность. В большинстве реакций он выступает в качестве восстановителя, образуя соединения, в которых его степень окисления равна +1. Но в реакциях с активными металлами он выступает в качестве окислителя: его степень окисления в соединениях с металлами равна -1.

При обычных условиях молекулярный водород сравнительно мало активен, без нагревания реагирует лишь с фтором, а на свету и с хлором. Однако при нагревании он вступает в реакции со многими элементами.

Атомарный водород обладает повышенной химической активностью по сравнению с молекулярным.

С кислородом реагирует практически необратимо, образуя воду с выделением 285,75 МДж/моль тепла. При обычных температурах реакция протекает крайне медленно, выше 550°C – со взрывом.

Водород используется для восстановления многих металлов, так как отнимает кислород у их оксидов. С галогенами водород образует галогеноводороды, при этом, взаимодействуя со фтором, водород взрывается (даже в темноте и при -252°C), с хлором и бромом реагирует лишь при освещении или нагревании, а с йодом - только при нагревании.

Практическое значение имеют реакции водорода с СО, при которых в зависимости от условий и катализатора образуется метанол и другие органические соединения. При повышенных температурах и давлениях, в присутствии катализатора водород взаимодействует с азотом с образованием аммиака. При нагревании водород энергично реагирует с серой, в результате получается сероводород, значительно труднее – с селеном и теллуrom.

Водород реагирует с некоторыми металлами (щелочными, щёлочноземельными и др.), образуя гидриды. Металлогидриды применяются для хранения водорода. В этом отношении металлогидридные системы являются наиболее привлекательными с точки зрения безопасности и компактности.

Водород нетоксичен, но пожаро- и взрывоопасен. Температура взрывного самовоспламенения в воздухе 577°C; КПВ в воздухе 4-75%, в O₂ – 4,65-96% по объему. Жидкий водород при попадании на открытые участки тела может вызвать сильное обморожение.

I. Технология производства водорода

I.1. Способы производства водорода

Водород относится к числу важнейших видов сырья современной химической и нефтехимической промышленности. Его получают различными способами, которые можно сгруппировать следующим образом:

- физические;
- электрохимические;
- химические.

К физическим методам относятся те процессы, в которых исходное сырье (газовая смесь) уже содержит свободный водород и требуется тем или иным физическим путем освободить его от остальных компонентов. В частности, из нефтезаводских газов, представляющих собой смесь углеводородов с водородом, водород извлекается с помощью физических методов: глубокого охлаждения; абсорбции; адсорбции; диффузии через мембраны с избирательной проницаемостью для водорода. Указанные методы можно использовать не только для выделения водорода из нефтезаводских газов, но и для выделения его в различных процессах производства водорода.

В электрохимических методах выделение водорода из его химических соединений осуществляется разложением последних под действием электрического тока.

Довольно широко используется в промышленности метод получения водорода (и одновременно кислорода) электролизом воды. Электролитом служит водный раствор KOH (350-450 г/л), давление в электролизерах – от атмосферного до 4МПа. Однако производительность электролизных установок невелика (4-500 м³/ч), и суммарный объем производства водорода данным способом не превышает 10%.

Значительные количества водорода образуются в качестве побочного продукта при получении хлора (Cl₂) и каустической соды (NaOH) электролизом водного раствора хлористого натрия (NaCl).

Химические методы являются наиболее распространенными способами получения водорода в целом и, в особенности, для нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Большое промышленное применение находят следующие методы: неполное окисление горючих ископаемых (газификация, конверсия) и термическое разложение горючих ископаемых.

Значительная часть промышленных процессов получения водорода относится к первой группе. Они основаны на получении технологических газов, содержащих смесь H₂, CO, CO₂, из которых в последующих стадиях выделяется водород.

В процессах газификации и конверсии используются газообразные углеводороды (природный, попутный нефтяной газы, газы нефтепереработки и нефтехимических производств и др.), жидкие углеводороды (мазут,

высоковязкие и высокосернистые прямогонные бензины, а также любые фракции нефтепродуктов), твердые горючие ископаемые.

Одним из хорошо разработанных методов получения водорода на нефтеперерабатывающих предприятиях является паро-кислородная газификация нефтяных остатков. Водород в процессах частичного дегидрирования (каталитический риформинг бензина, каталитическое дегидрирование бутана с получением бутилена и дегидрирование бутилена с получением бутадиена, пиролиз этана), является хотя и ценным, но побочным продуктом. Особенно значительны ресурсы водорода, полученного на НПЗ в процессе каталитического риформинга бензина.

Получение водорода из твердых горючих ископаемых путем их газификации (переработка с водяным паром и воздухом или кислородом) в настоящее время сохранилось только в Ленинградской области, где газогенераторные установки работают на горючих сланцах.

Процесс термического разложения углей широко используется в коксохимической промышленности, где водород является побочным продуктом. Из коксового газа металлургических и коксохимических предприятий водород получают методом глубокого охлаждения.

По степени сложности процессов и оборудования самым сложным является способ паровой конверсии природного газа. Однако водород, произведенный из природного газа, обходится в несколько раз дешевле электролизного водорода. Поэтому основным способом получения водорода в России в настоящее время является метод каталитической конверсии природного газа с водяным паром.

В 80-х годах прошлого века общий объем производства водорода в СССР составлял около 3 млн т. в год. Из них доля электролитического водорода составляла около 300 тыс. т, то есть около 10%. Подобная структура производства водорода сохранилась и сегодня. Предприятия нефтехимической и химической промышленности используют, в основном, конверсионный водород (особенно если имеется прямой доступ к природному газу). Предприятия полупроводниковой, стекольной, пищевой промышленности, металлургия и энергетика используют электролитический водород, учитывая простоту и надежность водных электролизеров, высокую чистоту генерируемых водорода и кислорода, возможность получения указанных газов под высоким давлением непосредственно на штуцере электролизера, высокую степень автоматизации процесса и высокий ресурс установок.

1.2. Производство водорода на местах

1.2.1. Оборудование для производства водорода на местах

Установки для получения водорода конверсионным методом из природного газа имеют ограниченное применение (по количеству используемых установок, а не по объему производства водорода). Кроме того, в большинстве случаев эти агрегаты входят состав комплексов по производству конечного продукта (аммиака и метанола). Следует отметить, что такие установки могут применяться только в крупнотоннажных производствах, т.к. они имеют ограничения по минимальной производительности. В связи с этим, для производства водорода на местах чаще всего используются электролизеры. В РФ количество предприятий, на которых в настоящее время используются электролизные установки, составляет около 900.

В таблице 2 приведены сравнительные технико-экономические характеристики промышленных электролизеров российского и зарубежного производства.

Таблица 2: Сравнительные характеристики электролизеров для производства водорода

Изготовитель	Производительность по водороду м ³ /ч	Масса кг	Удельная металлоемкость кг/м ³ /ч	Энергозатраты кВт·ч/нм ³ Н ₂	Потребляемая мощность кВт	Электролит	
Electroliser corporation Ltd (Канада)	1,8-9,9	755-2328	419-225	4,4-4,6	9,2-46	25% КОН	
Teledin Energy Systems (США)	1,26-12,72	450-900	357-71	7-6	8,4-72	25% КОН	
	15,9-47,7	4082	85	5	79,5-238,5	25% КОН	
Norsk Hydro (Норвегия)	360	н/д	н/д	4,6	1700	25% КОН	
"Уралхиммаш", РФ	ФВ-500М	536	101360	н/д	5,3	2800	25% КОН
	БЭУ 250	250	134590	538	4,94	н/д	25% КОН
	СЭУ 40	40	10240	258	5,24	н/д	25% КОН

Источник: "Справочное пособие" Московский энергетический институт