

Указания по использованию водорода в качестве топлива

1. Введение

Защита климата и новая энергетическая политика являются основными темами при разработке наших новых промышленных котлов с большим водяным пространством. Для успешной реализации новой энергетической политики необходимо разработать решения, обеспечивающие надежную эксплуатационную готовность в сочетании с рентабельностью и экологической совместимостью для снижения негативного влияния на климат.

Эти цели могут быть достигнуты только путем перехода на новые энергоносители. Водород при этом играет решающую роль в общемировом масштабе, так как в комбинации с возобновляемыми источниками энергии он позволяет существенно сократить выбросы CO₂ в промышленных процессах.

Модульная программа котлов с большим водяным пространством Vitomax производства компании Viessmann содержит надежные и комплексные решения для комплектного оборудования котельных. Соответствующие требованиям завтрашнего дня системные решения обеспечат безотказную работу и дополнительную рентабельность вашей установки.

Уже сегодня по всему миру работают котловые установки, в которых в качестве топлива используется водород. В наших котлах можно без проблем обеспечить как 100%-ное применение водорода, так и его процентное смешивание с другими видами топлива.

2. Основные положения / общие сведения

Водород (химическое обозначение H₂) – это самый легкий газ в периодической системе. При комнатной температуре водород представляет собой нетоксичный горючий газ без цвета и запаха. Водород примерно в 14 раз легче воздуха и поэтому обладает очень высокой диффузионной способностью.

Водород горит в воздухе. При сгорании водорода (100 %) образуется чистый водяной пар (химическое обозначение H₂O) и окись азота из воздуха для горения. Газовые смеси из водорода и воздуха или чистого кислорода очень взрывоопасны, вследствие чего их называют также гремучим газом.

Свойства водорода:

Плотность	0,090 кг/м ³ (при 0 °С, 1013 мбар)
Температура плавления	14,01 К = -259,14 °С (при 1013 мбар)
Точка кипения	21,15 К = -252,0 °С (при 1013 мбар)
Теплотворная способность	120,0 МДж/кг = 33,3 кВтч/кг, 10,8 МДж/м ³ = 3,0 кВтч/м ³ (при 0 °С, 1013 мбар)
Теплота сгорания	141,8 МДж/кг = 39,4 кВтч/кг, 12,7 МДж/м ³ = 3,54 кВтч/м ³ (при 0 °С, 1013 мбар)
Сгорание	Формула реакции: $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$ Расход воздуха (для $\lambda = 1$): 2,39 м ³ кислорода воздуха на м ³ водорода Продукты сгорания: 8,94 кг воды в виде пара на кг водорода (268 г/кВтч применительно к теплотворной способности)

3. Применение водорода

Водород находит применение в различных отраслях промышленности. К ним в первую очередь относятся химическая промышленность и металлургия. В химической промышленности водород часто используется для охлаждения или в качестве компонента защитной атмосферы. В металлургии водород применяется главным образом как восстановитель.

Другой экологически чистой сферой применения водорода является выработка электроэнергии с помощью топливных элементов.

Так как водород горит в смеси с воздухом и имеет сравнительно высокую теплотворную способность и теплоту сгорания, он используется также в качестве топлива при производстве тепла и пара.

Топливо	H ₂	Природный газ LL	Жидкое топливо EL
Агрегатное состояние	газообразное	газообразное	жидкое
Теплотворная способность [кДж/кг]	119.915	39.850	42.650
Теплотворная способность [кДж/м ³]	10.797	32.478	35.826
Теплотворная способность [кВтч/м ³]	3,00	9,02	10,00
Теплота сгорания [кДж/кг]	141.731	44.170	45.500
Теплота сгорания [кДж/м ³]	12.762	35.999	38.220
Теплота сгорания [кВтч/м ³]	3,54	10,00	10,70

Чистый кислород способен на 100 % заменить общепринятые сорта топлива или используется в топливной смеси (например, с природным газом) в различных процентных соотношениях.

В настоящее время водородные смеси с природным газом описаны и допущены в инструкциях DVGW в количестве до 10 об. %. Расширение до 20 об. % находится в процессе испытаний и с большой вероятностью будет реализовано в течение следующих двух лет.

Со стороны производителей, однако, на рынке имеются ограничения по количеству H₂ (например, для работы газовых турбин < 5 об. % или для эксплуатации газовых автомобилей со стальным баком < 2 об. %).

При использовании водорода в качестве топлива важно обеспечить его достаточное и постоянное снабжение. Нестабильность подачи может привести к непостоянству мощности и количества выбросов.

4. Законодательные положения

Национальные стратегии в применении водорода в течение следующих лет будут более подробно устанавливаться и отражаться в правовых актах.

В настоящее время, однако, практически отсутствует нормативная документация, детально описывающая использование водорода в качестве топлива.

В зависимости от оценки рисков пользователями установок могут применяться различные нормы и правила (например, директива ATEX).

В Германии на общегосударственном уровне действуют дополнительные программы сертификации (ZP3100 Немецкого союза специалистов водо- и газоснабжения DVGW совместно с GWI) к правилам эксплуатации газового оборудования для водогрейных котлов с газообразным топливом и подмешиванием 20 об. % водорода. Эта дополнительная сертификация действительна главным образом для котловых блоков с горелкой. Для котлов Vitomax это дополнение не требуется.

Для установок, работающих с добавлением водорода в количестве свыше 20 об %, в настоящее время выдаются лишь местные сертификаты приемки / допуска.

5. Эксплуатация с использованием водорода

При эксплуатации установки с использованием водорода в качестве топлива необходимо принять во внимание различные аспекты, в том числе

- пригодность используемых материалов (плотность, коррозионная и температурная стойкость)
- эмиссии
- граничные условия / ограничения

5.1 Пригодность используемых материалов

Для применения водорода необходимо проверить используемые материалы на их совместимость.

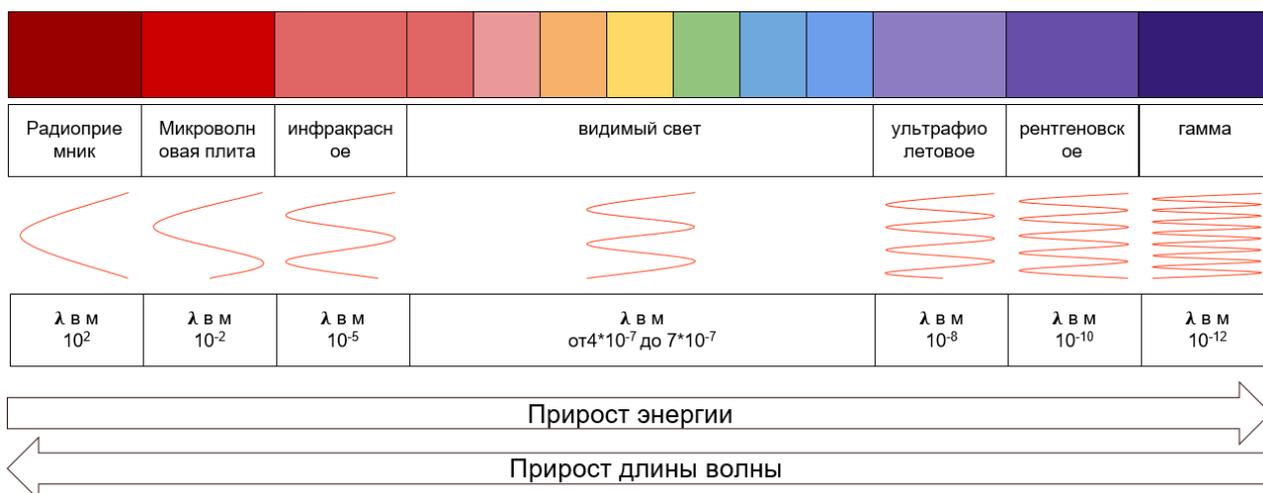
Плотность:

Водород благодаря своей значительно более низкой плотности в сравнении с воздухом обладает очень высокой диффузионной способностью и поэтому может быстро проникать через пористые материалы (например, уплотнения / изоляционные материалы) или другие мелкие неплотности. При этом возможно образование взрывоопасных газовых смесей.

Поэтому в устройствах для хранения и подачи топлива к горелке и в самой горелке должны применяться подходящие уплотнения и материалы, проверенные на герметичность.

Термостойкость:

В зависимости от топлива образуется пламя с различной температурой и разным излучением.



Водород сгорает со значительно более высокими температурами в сравнении с природным газом.

Адиабатическая стехиометрическая температура горения чисто водородного пламени составляет прибл. 2200°C, а у природного газа – прибл. 2000°C.

Водородное пламя, однако, излучает значительно меньше тепла, чем, например, пламя жидкого топлива или природного газа. Пламя жидкого котельного топлива при горении излучает самую высокую энергию, поэтому допустимая тепловая мощность топки для котлов с большим водяным пространством согласно EN 12953-3 для жидкого котельного топлива ограничено 18,0 МВт. Для газа согласно данному стандарту предел в настоящее время составляет 23,4 МВт.

Так как требуемая тепловая мощность топки для водорода остается постоянной, объемная нагрузка на жаровую трубу также не изменяется. Средняя температура материала в жаровой трубе по причине более низкой плотности теплового потока водорода в сравнении с топкой на природном газе / жидком котельном топливе также не возрастает, хотя температуры сгорания более высокие. Это означает, что критерии расчета по-прежнему выдержаны.

Поэтому для котлов Vitomax с используемыми в них материалами и уплотнениями / изоляцией ограничения на работу с водородным топливом также отсутствуют.

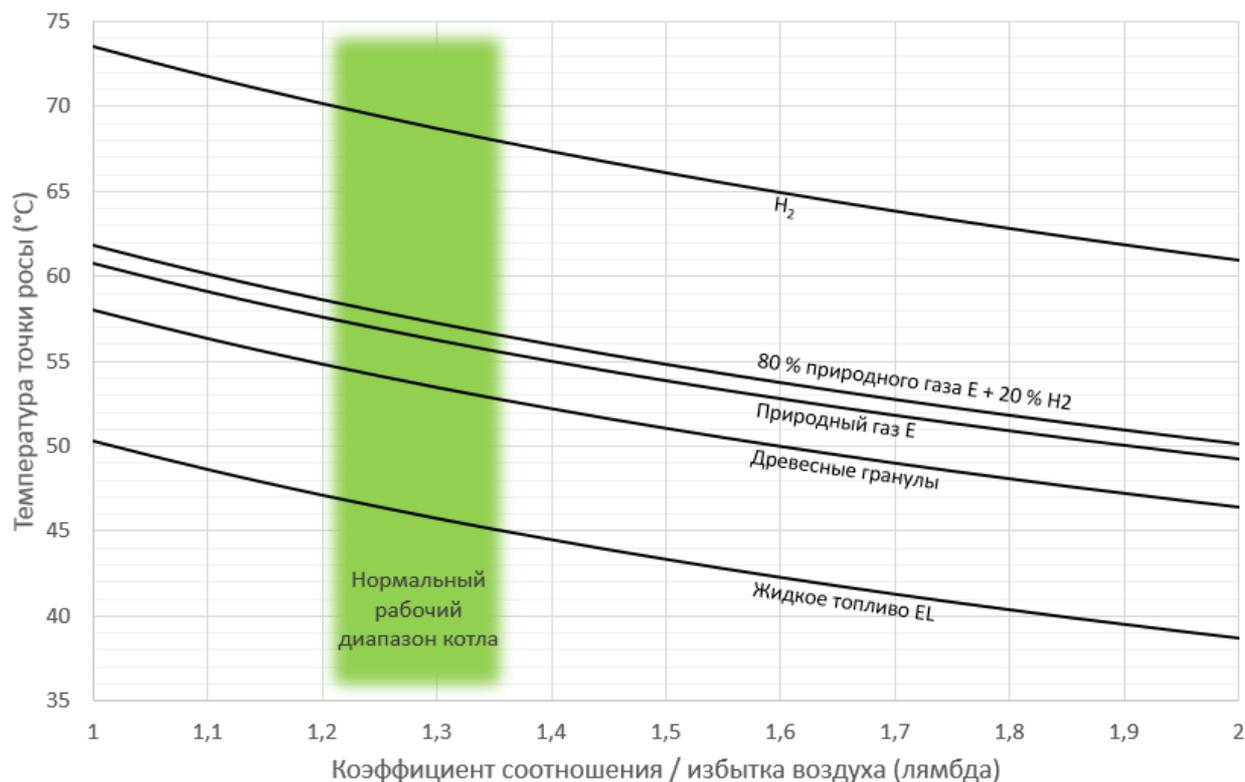
Коррозионная стойкость:

Так как при горении водорода образуется больше водяного пара, чем при сгорании природного газа, содержание водяного пара в топочном газе выше.

При охлаждении топочных газов и температурах ниже точки росы образуется конденсат. Поэтому необходимо использовать коррозионно-стойкие материалы или обеспечить, чтобы температуры не опускались ниже точек росы газовых смесей. Чем выше доля водорода, тем больше также количество конденсата. Количество конденсата при 100% H₂ примерно вдвое больше, чем при горении чистого природного газа.

Так как точка росы у водорода в сравнении с обычным природным газом значительно выше, для водогрейных установок с низкими температурами обратной магистрали рекомендуется использовать встроенные теплообменники из коррозионно-стойких нержавеющей сталей. Последующие линии и компоненты системы отвода продуктов сгорания также должны состоять из коррозионно-стойких материалов. Кроме того, при монтаже необходимо обеспечить, чтобы образующийся конденсат надлежащим образом был отведен и нейтрализован.

Точка росы водяного пара – топочные и уходящие газы



Вследствие проблем с конденсатом мы рекомендуем при запуске котлов Vitomax из холодного состояния с содержанием водорода менее 20 % или с другими рабочими средами (электроэнергия, сбросное тепло или природный газ без добавления водорода) выполнять разогрев, пока котлы не достигнут состояния готовности к работе. Затем можно переключить или подключить к работе котла водород / газовые смеси с водородом. Кроме того, необходимо обязательно соблюдать действующие указания по проектированию «Запуск котлов с большим водяным пространством из холодного и разогретого состояния».

5.2 Эмиссии

Так как водород не содержит углеводородные соединения, при сгорании с чистым кислородом образуется чистый водяной пар (химическое обозначение H₂O) без выбросов CO₂.

При сгорании в котлах с большим водяным пространством, однако, происходит горение топлива с окружающим воздухом, в результате чего имеют место вредные для климата эмиссии (CO_x / NO_x).

Путем подмешивания водорода можно в значительной степени сократить выбросы CO_x в зависимости от доли подмешивания.

Так как водород сгорает при значительно более высоких температурах, содержание термической окиси NO_x выше. При сгорании водорода (100%) образуется в 1,5 - 3 раза больше NO_x, чем при сгорании чистого природного газа.

Путем зависящих от применения технических решений и оборудования котлов Vitomax (например, оптимизированные головки горелок / внешняя циркуляция топочных газов) можно сократить выбросы NO_x до значений, сравнимых с использованием природного газа. Таким образом, можно обеспечить более низкие значения NO_x ниже законодательных требований и надежно подготовить вашу установку к будущим требованиям по эмиссии.

В режиме эксплуатации для соблюдения требуемых эмиссионных параметров необходимо обеспечить снабжение водородом в достаточном количестве. Так как котлы и горелки регулируются в соответствии с определенными режимами работы, необходимо избегать непостоянства снабжения. Также колебания индекса Воббе приводят к отклонениям от расчетных теоретических показателей NO_x. В наиболее неблагоприятном случае это может стать причиной того, что параметры выбросов NO_x больше не будут соблюдаться и допуск к эксплуатации может быть аннулирован.

Особенно при последующем переоборудовании установок на эксплуатацию с водородом требуются подробные оценки / испытания для определения параметров производительности и выбросов, чтобы предотвратить значительные дополнительные расходы на последующие изменения.

5.3 Граничные условия / ограничения

Наряду с предыдущими указаниями и пояснениями действуют приведенные ниже условия эксплуатации для использования водорода в качестве топлива или компонента топливной смеси.

Дополнительные указания см. в инструкции по монтажу и сервисному обслуживанию котла.

	Vitomax LW / HW	Vitomax HS / Vitoplex LS
Запуск котла	<ul style="list-style-type: none"> • Для эксплуатации с содержанием $H_2 > 20\%$ необходимо вначале выполнить пусковые операции с другими источниками нагрева (электроэнергия, сбросное тепло, топливо с содержанием $H_2 < 20\%$). • Для эксплуатации с содержанием $H_2 < 20\%$ действуют те же условия, что и для природного газа. • Кроме того, должны соблюдаться указания по проектированию «Запуск котлов с большим водяным пространством из холодного и разогретого состояния». 	<ul style="list-style-type: none"> • Для эксплуатации с содержанием $H_2 > 20\%$ необходимо вначале выполнить пусковые операции с другими источниками нагрева (электроэнергия, сбросное тепло, топливо с содержанием $H_2 < 20\%$). • Для эксплуатации с содержанием $H_2 < 20\%$ действуют те же условия, что и для природного газа. • Кроме того, должны соблюдаться указания по проектированию «Запуск котлов с большим водяным пространством из холодного и разогретого состояния».
Предотвращение температур ниже точки росы в процессе эксплуатации	<p>действительно для водогрейных котлов без теплообменника из нержавеющей стали.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Для эксплуатации с содержанием H_2 от 20 до 100 % необходима минимальная температура обратной магистрали $> 75\text{ }^\circ\text{C}$. • Для эксплуатации с содержанием H_2 от 10 % до 20 % необходима минимальная температура обратной магистрали $> 60\text{ }^\circ\text{C}$. • Для эксплуатации с содержанием H_2 менее 10 % необходима минимальная температура обратной из магистрали $> 55\text{ }^\circ\text{C}$. 	<ul style="list-style-type: none"> • На работающие под давлением котлы эксплуатационные ограничения не распространяются, и температура питательной воды составляет $> 80\text{ }^\circ\text{C}$.
Конденсат	<ul style="list-style-type: none"> • Необходимо организовать надлежащий отвод и, если потребуется, нейтрализацию образующегося конденсата. 	<ul style="list-style-type: none"> • Необходимо организовать надлежащий отвод и, если потребуется, нейтрализацию образующегося конденсата.

<p>Соблюдение эмиссионных параметров</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Обеспечить постоянное снабжение водородом – без нестабильностей. • Избегать колебаний индекса Воббе. • Если потребуется, использовать внешнюю систему циркуляции топочных газов. • Соблюдать указания производителей горелки и законодательные положения 	<ul style="list-style-type: none"> • Обеспечить постоянное снабжение водородом – без нестабильностей. • Избегать колебаний индекса Воббе. • Если потребуется, использовать внешнюю систему циркуляции топочных газов. • Соблюдать указания производителей горелки и законодательные положения
<p>Температурная стойкость</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ограничения применительно к используемым материалам / уплотнениям для котлов Vitomax отсутствуют • Принадлежности должны быть испытаны в соответствии с заказом и быть пригодными для соответствующего применения 	<ul style="list-style-type: none"> • Ограничения применительно к используемым материалам / уплотнениям для котлов Vitomax отсутствуют • Принадлежности должны быть испытаны в соответствии с заказом и быть пригодными для соответствующего применения
<p>Диффузионная стойкость</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Использование подходящих уплотнений в зоне снабжения водородом, в том числе для резервуаров хранения водорода, систем подачи топлива и горелок 	<ul style="list-style-type: none"> • Использование подходящих уплотнений в зоне снабжения водородом, в том числе для резервуаров хранения водорода, систем подачи топлива и горелок