

## Оборудование для сжигания водорода H<sub>2</sub>

### ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

- Практически любая арматура может работать на 100 % водороде.
- Большинство горелок можно использовать при концентрации водорода до 50 %.
- Может использоваться для установок с большим сроком эксплуатации.



---

# Содержание

<b>Содержание</b> .....	<b>2</b>
<b>1 Использование водорода</b> .....	<b>3</b>
<b>2 Сертификация</b> .....	<b>4</b>
<b>3 Совместимость с водородом</b> .....	<b>5</b>
3.1 Арматура и принадлежности .....	5
3.2 Горелки .....	6
<b>4 Герметичность</b> .....	<b>7</b>
<b>5 Расчет номинального диаметра</b> .....	<b>8</b>
<b>6 Информация по проектированию</b> .....	<b>9</b>
6.1 Основы горения при добавлении водорода к природному газу .....	9
6.2 Перенастройка существующих систем горелок ..	9
6.3 Контроль и управление горелками с применением водорода .....	10
<b>Для дополнительной информации</b> .....	<b>11</b>

### 1 Использование водорода

Значение водорода как климатически нейтрального поставщика энергии растёт.

Honeywell Thermal Solutions предоставляет вам арматуру и горелки, подходящие для использования водорода в технологическом нагреве.

Водород – самый маленький и самый легкий элемент в периодической таблице. Обычно он встречается в молекулярной форме  $H_2$ , в виде бесцветного газа без запаха. В некоторых химических реакциях водород временно проявляется в атомарном виде как  $H$ . В этой форме он характеризуется гораздо более высокой реакционной способностью по сравнению с обычными молекулами  $H_2$ . Так называемое водородное охрупчивание, например, вследствие проникновения атомарного водорода в металлы под воздействием высоких давлений, высоких температур, вибраций и кислоты, может быть исключено для оборудования, указанного в данной Технической информации.

Из-за низкой плотности по сравнению с природным газом водород может легче выходить наружу, например, в местах соединений.

Вся арматура и горелки, подходящие для использования водорода, см. стр. 5 (Совместимость с водородом).

Дополнительная информация о герметичности, см. стр. 7 (Герметичность).

### Сравнение пламени для ThermJet TJ мощностью 213 кВт, $\lambda = 1,15$



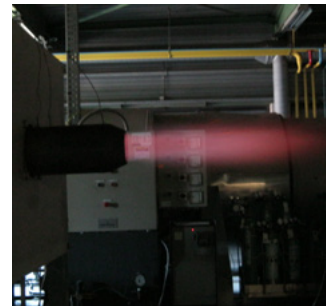
100 % природный газ



Соотношение природный газ/водород 40/60



Соотношение природный газ/водород 20/80



100 % водород

## 2 Сертификация

Действующие прикладные нормы ISO 13577 и EN 746 для термообрабатывающего оборудования а также EN 676 и ISO 22967 для газовых горелок с вентиляторами содержат лишь несколько заявлений о водороде. Однако в настоящее время для внесения изменений уже обсуждается вопрос о том, какие дополнительные правила должны быть включены для горючих газов с высоким содержанием водорода.

В соответствии с Регламентом «Оборудование, работающее на газовом топливе» (GAR) (EU) 2016/426, теперь существует новый технический отчет «CEN TR 17924 Устройства безопасности и контрольные устройства для горелок и топливосжигающих устройств, работающих на газообразном и/или жидком топливе – Руководство по специфическим аспектам водорода» для использования водорода.

Документ относится к газовым приборам с заявленным максимальным давлением на входе до 500 кПа (5 бар) включительно и номинальным диаметром подключения до DN 250. Цель документа – предоставить руководство по специфическим для водорода темам, которые должны быть рассмотрены при будущей стандартизации областей, охватываемых CEN/TC 58, таких как предохранительные газовые клапаны, датчики-реле давления газа, реле давления газа, компоненты розжига и контроля.

Почти все втулки, уплотнения, шаровые краны, фильтры, регуляторы давления, клапаны, затворы, датчики-реле давления, компоненты розжига и контроля подходят для 100 % водорода и всех смесей природного газа с H<sub>2</sub>. Так называемое водородное охрупчивание, например, вследствие проникновения

атомарного водорода в металлы под воздействием высоких давлений, высоких температур, вибраций и кислоты, можно исключить в диапазоне низких значений давления ниже 500 кПа (5 бар) и, таким образом, для большинства компонентов горелок и приборов управления.

Измерения, проведенные независимыми институтами, подтвердили, что предельные значения для внутренних и внешних утечек могут поддерживаться и для чистого водорода или водородных смесей и не нуждаются в корректировке.

## 3 Совместимость с водородом

### 3.1 Арматура и принадлежности

Тип	Название	100 % H <sub>2</sub>
<b>Запорные шаровые краны и фильтры</b>		
AKT	Краны запорные шаровые	✓
TAS	Термозащитные устройства	✓
GFK	Фильтры газовые	✓
<b>Регуляторы давления</b>		
J78R	Регуляторы давления	✓
GDJ	Регуляторы давления	✓
VGBF	Регуляторы давления	✓
JSAV	Клапаны предохранительные запорные	✓
VSBV	Клапан предохранительный сбросной	✓
VAR	Регуляторы давления	✓
GIK, GIK..B	Регуляторы соотношения давлений	✓
GIKH	Регуляторы соотношения давлений	✓
<b>Клапаны и затворы</b>		
VAS	Клапаны запорные электромагнитные	✓
VCx	Клапаны запорные сдвоенные	✓
VAD	Устройства многофункциональные (клапаны с регулятором давления)	✓
VAG	Устройства многофункциональные (клапаны с регулятором соотношения давлений)	✓
VAH	Устройства многофункциональные (клапаны с регулятором соотношения давлений)	✓
VRH	Регуляторы расхода	✓
VAV	Устройства многофункциональные (клапаны с регулятором соотношения давлений)	✓
VBV	Клапаны запорные	✓
VMV	Задвижки регулирующие	✓
VMO	Расходомеры диафрагменные	✓
VMF	Модули фильтрующие	✓
VGP	Клапаны запорные	✓

Тип	Название	100 % H <sub>2</sub>
VG	Клапаны запорные	✓
VAN	Клапаны запорные нормально открытые	✓
VK	Клапаны запорные моторные	✓
BVG, BVGF	Затворы дисковые для газа	✓
VFC	Клапаны регулирующие	✓
VR4xx	Клапаны запорные	✓
VRB	Клапаны запорные	✓
V4730, V8730	Клапаны запорные	✓
VMU	Смеситель	
RV	Клапаны регулирующие	✓
<b>Датчики-реле давления</b>		
DG	Датчики-реле давления	✓
C6097	Датчики-реле давления	✓
C60VR	Датчики-реле давления	✓
<b>Компоненты розжига и контроля</b>		
UVS	УФ датчики	✓
UVC 1	УФ датчики пламени	✓
<b>Принадлежности</b>		
KFM..M, RFM..M	Манометры показывающие	✓
GEN, GEHV	Краны регулирующие	✓
DH	Клапаны предохранительные	✓
DMG	Реле давления электронный	✓
EKO	Компенсаторы из нержавеющей стали	✓
ES	Шланги из нержавеющей стали	✓
GRS	Клапаны обратные предохранительные	✓

Счетчики расхода газа (расходомеры) DM, DE пригодны для применения 20 % водорода.

## 3.2 Горелки

Тип	Название	H <sub>2</sub>
ZAI	Горелки газовые запальные	≤ 50 % <sup>1)</sup>
ZMI(C)	Горелки газовые запальные	≤ 50 % <sup>1)</sup>
ZKIH	Горелки газовые запальные	≤ 50 % <sup>1)</sup>
ZKIH...-2	Горелки газовые запальные	≤ 100 % <sup>4)</sup>
ZIO 40	Горелки газовые запальные	≤ 50 % <sup>1)</sup>
ZIO 40HB...-2	Горелки газовые запальные	≤ 100 % <sup>4)</sup>
ZT 40	Горелки газовые запальные	≤ 50 % <sup>1)</sup>
ZTA	Горелки газовые запальные	≤ 50 % <sup>1)</sup>
ZTI	Горелки газовые запальные	≤ 50 % <sup>1)</sup>
BIO(W), BIC(W)	Горелки газовые	≤ 50 % <sup>1)</sup>
BIO(W)..HD..-2, BIC(W)..HD..-2	Горелки газовые	≤ 100 % <sup>4)</sup>
BIOA, BICA	Горелки газовые	≤ 50 % <sup>1)</sup>
BIOA..HD..-2, BICA..HD..-2	Горелки газовые	≤ 100 % <sup>4)</sup>
ZIO(W), ZIC(W)	Горелки газовые	≤ 50 % <sup>1)</sup>
ZIO(W)..HD..-2, ZIC(W)..HD..-2	Горелки газовые	≤ 100 % <sup>4)</sup>
BIO(W)..L, BIC(W)..L	С горелкой запальной	≤ 10 % <sup>1)</sup>
ZIO(W)..L, ZIC(W)..L	С горелкой запальной	≤ 10 % <sup>1)</sup>
BICR	Горелки газовые	≤ 50 % <sup>1)</sup>
GLG, GLA, GLH	Горелки газовые	≤ 100 % <sup>3)</sup>
ECOMAX	Горелки газовые	≤ 50 % <sup>1)</sup>
ECOMAX LE	Горелки газовые	≤ 100 % <sup>4)</sup>
ThermJet	Горелки газовые	≤ 50 % <sup>2)</sup>
Wide Range	Горелки газовые	≤ 30 %
UNIRAD-Vilvoorde	Горелки газовые	≤ 50 % <sup>1)</sup>
PrimeFire FH (Next Gen)	Горелки газовые	≤ 50 % <sup>1)</sup>
OXYTHERM 300	Горелки газовые	≤ 50 % <sup>1)</sup>
OXYTHERM LE	Горелки газовые	≤ 50 % <sup>1)</sup>
PrimeFire 100	Горелки газовые	≤ 50 % <sup>1)</sup>
OXYTHERM FHR	Горелки газовые	≤ 50 % <sup>1)</sup>
OXYTHERM Titan	Горелки газовые	≤ 50 % <sup>2)</sup>
NP-RG	Горелки газовые	≤ 50 % <sup>2)</sup>
LV Airflo	Горелки газовые	≤ 50 % <sup>2)</sup>
COMBUSTIFUME	Горелки газовые	≤ 50 % <sup>2)</sup>

Тип	Название	H <sub>2</sub>
HC AIRFLO	Горелки газовые	≤ 50 % <sup>1)</sup>
OVENPAK 400	Горелки газовые	≤ 30 % <sup>3)</sup>
OVENPAK 500	Горелки газовые	≤ 30 %
VALUPAK-II	Горелки газовые	≤ 30 % <sup>2)</sup>
UnoPak	Горелки газовые	≤ 30 % <sup>2)</sup>
MEGAFIRE HD	Горелки газовые	≤ 30 % <sup>2)</sup>
KINEMAX	Горелки газовые	≤ 50 % <sup>1)</sup>

- 1) Более высокая концентрация водорода по запросу
- 2) Указанное количество водорода может быть сожжено при незначительной регулировке горелки и после проверки применения.
- 3) По запросу и после проверки применения
- 4) При 95 % H<sub>2</sub> необходимо осуществлять контроль посредством УФ датчика.

## 4 Герметичность

Из-за небольшого размера молекул и непостоянной динамической вязкости водорода ( $H_2$ ) величины утечек изменяются по сравнению с метаном ( $CH_4$ ).

### Внутренняя и внешняя герметичность по EN 13611

Газовые приборы должны быть герметичными и соответствовать указанному в EN 13611 величинам утечек воздуха.

Номинальный диаметр	Среда	Внутренняя герметичность [см <sup>3</sup> /ч]	Внешняя герметичность [см <sup>3</sup> /ч]
DN < 10	Воздух		≤ 20
10 ≤ DN ≤ 25	Воздух		≤ 40
25 ≤ DN ≤ 80	Воздух		≤ 60
80 ≤ DN ≤ 150	Воздух	≤ 100	≤ 60
150 ≤ DN ≤ 250	Воздух	≤ 150	≤ 60

Предписанные EN 13611 величины утечек соблюдаются, если примесь  $H_2$  составляет менее 10 % .

В следующей таблице приведены рассчитанные величины утечек для 100 % водорода ( $H_2$ ):

Номинальный диаметр	Среда	Внутренняя герметичность [см <sup>3</sup> /ч]	Внешняя герметичность [см <sup>3</sup> /ч]
DN < 10	Водород ( $H_2$ )		≤ 25
10 ≤ DN ≤ 25	Водород ( $H_2$ )		≤ 80
25 ≤ DN ≤ 80	Водород ( $H_2$ )		≤ 120
80 ≤ DN ≤ 150	Водород ( $H_2$ )	≤ 200	≤ 120
150 ≤ DN ≤ 250	Водород ( $H_2$ )	≤ 300	≤ 120

При использовании 100 %  $H_2$  или примеси  $H_2$  более 10 % соблюдение норм утечки по EN 13611 не гарантируется из-за малой плотности и непостоянной дина-

мической вязкости водорода. **Пригодность** применения для работы с газодородными смесями с долей водорода ≥ 10 % **должна быть определена с помощью оценки риска.**

### Сапуны датчиков-реле давления и регуляторов давления по EN 13611

Сапуны газовых приборов с мембранами, напр. регуляторов давления, не оснащенные соединением для сбросной трубы, должны быть сконструированы таким образом, чтобы в случае повреждения мембраны выходило не более 70 дм<sup>3</sup>/ч воздуха при самом высоком давлении на входе. Этот объем воздуха в 70 дм<sup>3</sup>/ч соответствует утечке 100 дм<sup>3</sup>/ч природного газа ( $CH_4$ ) или 270 дм<sup>3</sup>/ч водорода ( $H_2$ ) в случае повреждения.

Для датчиков-реле давления в соответствии с EN 1854 это требование заменяется испытанием на разрыв мембраны.

### Пределы взрываемости

Газовая смесь	нижний предел [% об.]	верхний предел [% об.]
$H_2$	4,0	77
$CH_4$	4,4	16,5

При использовании водорода нижний предел взрываемости достигается быстрее.

### Расчет расхода

В случае «турбулентного потока», например, в сапуне, расход может быть рассчитан через соотношение плотности:

коэффициент преобразования из соотношения плотности (базовый параметр – воздух):

Среда	Плотность [кг/м <sup>3</sup> ]	Коэффициент преобразования
Воздух	1,29	1
Природный газ типа Н	0,81	1,3
H <sub>2</sub>	0,09	3,79

Перед пуском в эксплуатацию необходимо проверить герметичность систем. Помимо приборов, проверяются также резьбовые и фланцевые соединения.

## 5 Расчет номинального диаметра

Веб-приложение для расчета номинального диаметра можно найти по адресу [www.adlatus.org](http://www.adlatus.org).

Соответствующую плотность для водорода или смесей водорода с природным газом необходимо ввести вручную.

## 6 Информация по проектированию

### 6.1 Основы горения при добавлении водорода к природному газу

Теплота сгорания смесей природного газа и водорода значительно снижается с увеличением примеси  $H_2$ , т.е. для получения одинаковой тепловой мощности требуется больший расход газа. Из-за низкой плотности водорода число Воббе снижается значительно меньше, но, тем не менее, для достижения такой же мощности давление газа должно быть на 65 % выше. Рекомендуемая скорость потока 20-30 м/с для природного газа должна соблюдаться и для примесей  $H_2$ .

Скорость ламинарного пламени водорода значительно выше, чем у природного газа. При этом видимая длина пламени во многих горелках с примесью  $H_2$  почти не изменяется. Однако, в зависимости от конструкции горелки, высокая скорость пламени может привести к резонансу и шуму.

Потребность в воздухе для горения снижается с увеличением примеси  $H_2$ , т.е. для данной системы нет дополнительного риска от избытка газа с примесью  $H_2$ . Однако, если настройка горелки остается неизменной, избыток воздуха увеличивается до 45 %, поэтому необходимо проверить, может ли горелка стабильно работать при более высокой примеси  $H_2$ .

Адиабатическая температура горения и температура пламени увеличиваются с увеличением примеси  $H_2$ . Это увеличивает термическое образование  $NO_x$  и, особенно начиная примерно с 50 % примеси  $H_2$ , начинается экспоненциальное увеличение выбросов  $NO_x$ , что делает необходимыми дополнительные меры по

снижению  $NO_x$ , например, за счет выбора подходящих горелок с низким выбросом  $NO_x$ .

### 6.2 Перенастройка существующих систем горелок

При добавлении 10-20 % водорода к природному газу обычно требуется выполнить только настройку горелок, особенно для решений с низким выбросом  $NO_x$ , где точная регулировка соотношения газ/воздух имеет решающее значение.

При переменном количестве подмешиваемого водорода необходимо использовать расширенный контроль соотношения газ/воздух.

При более высоком содержании водорода необходимо выбрать горелку, подходящую для данного типа газа.

### **6.3 Контроль и управление горелками с применением водорода**

Контроль пламени при применении чистого водорода или примеси водорода к природному газу более 95 % по физическим причинам может осуществляться только с помощью УФ датчиков, но не с помощью ионизации.

Ввиду значительно более высокого предела взрываемости водорода по сравнению с природным газом, в отдельных случаях необходимо проверить, требуется ли продувка газопровода между запорным клапаном и горелкой после выключения горелки (закрытия автоматических запорных клапанов). При определенных обстоятельствах возможно образование воспламеняющейся смеси между горелкой и запорным клапаном и проскок пламени в газопроводе при повторном пуске горелки. В любом случае, при использовании водорода запорные клапаны и, при необходимости, пламяпреградители должны располагаться как можно ближе к горелке, чтобы минимизировать риск образования потенциально воспламеняющейся смеси.

## Для дополнительной информации

Ассортимент продукции Honeywell Thermal Solutions включает Honeywell Combustion Safety, Eclipse, Exothermics, Hauck, Kromschroder и Maxon. Чтобы узнать больше о нашей продукции, посетите сайт [ThermalSolutions.honeywell.com](https://ThermalSolutions.honeywell.com) или свяжитесь с вашим продавцом-консультантом компании Honeywell.

Elster GmbH  
Strothweg 1, D-49504 Lotte  
T +49 541 1214-0  
[hts.lotte@honeywell.com](mailto:hts.lotte@honeywell.com)  
[www.kromschroeder.com](http://www.kromschroeder.com)

© 2026 Elster GmbH

Возможны изменения, служащие  
техническому прогрессу.

