

# ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ: ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ТЕРПЕНТИНА И $ClO_2$

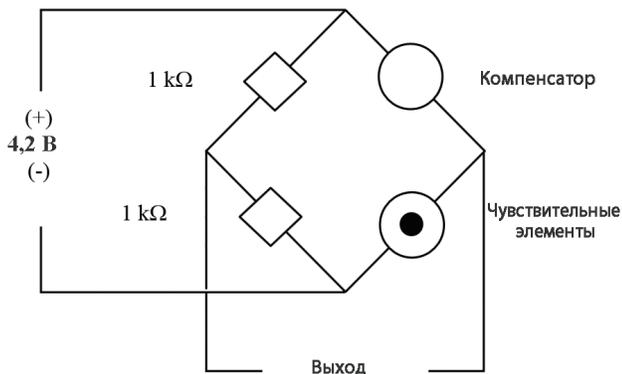
Как и многие другие отрасли, целлюлозно-бумажная промышленность предполагает наличие множества замкнутых пространств. Нередко требуется измерить содержание газа в атмосфере этих пространств, чтобы обеспечить безопасность сотрудников. Пары терпентина и газ диоксид хлора ( $ClO_2$ ) встречаются в основном в целлюлозно-бумажной промышленности и представляют особые трудности для мониторинга. Знания об этих газах и понимание того, как функционируют средства для их измерения, могут существенно повысить уверенность работников в надежности газовых анализаторов.

## ТЕРПЕНТИН

Продукты, получаемые в результате варки целлюлозы, можно разделить на два основных потока. К одному из них относится волокно, из которого производят бумагу; а к другому — химические вещества из древесных продуктов, которые имеют широкое применение — от лакокрасочной до пищевой промышленности. В число этих химических веществ входит терпентин — необычное вещество из-за низкого LEL (нижнего предела допустимой концентрации), который составляет всего 0,8 об. % (8000 ч/млн). Кроме того, его пары имеют низкую температуру горения: всего 488 °F по сравнению с 999 °F у метана. Из-за этих свойств терпентина его пары сложно измерить обычным датчиком LEL. Чтобы понять, почему терпентин плохо поддается измерению обычными газоанализаторами LEL, нужно понимать, как устроен датчик LEL.

## ДАТЧИКИ LEL ПРЕДНАЗНАЧЕНЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МЕТАНА

Изначально датчики LEL предназначались для измерения концентрации метана в угольных шахтах. В большинстве датчиков LEL для измерения тепла, отдаваемого во время сгорания горячего газа на каталитической головке, используется измерительный мост Уитстона. При возрастании температуры меняется сопротивление. Эти изменения измеряются и переводятся в % LEL.



## Упрощенное устройство LEL

Датчик с измерительным мостом Уитстона представляет собой крошечную электрическую плитку с двумя нагревательными элементами. На одном элементе есть катализатор (например, платина), а на другом — нет. Оба элемента нагреваются до температуры, которая в нормальных условиях не приводит к возгоранию. Тем не менее, на элементе с катализатором газ слабо «горит» и нагревается относительно другого элемента без катализатора. У более горячего элемента сопротивление выше, и измерительный мост Уитстона измеряет разницу в сопротивлении обоих элементов. По сути, датчик измеряет температуру, при которой горит газ.



## Ограничения для датчика LEL

Ниже описаны два механизма, которые влияют на производительность измерительного моста Уитстона в датчиках LEL, снижая их эффективность при измерении любых веществ, кроме метана.

- 1. При горении газов выделяется разное количество тепла на соответствующем уровне LEL.** Одни газы выделяют много тепла при горении, другие — относительно мало. Эта разница в физических характеристиках приводит к осложнениям при использовании датчиков LEL. Например, при 100% LEL (5 об. %) метана выделяется намного больше тепла, чем при 100% LEL (0,8 об. %) терпентина. Поскольку датчики LEL фактически измеряют тепло, выделяемое при сгорании газа или пара, пары вроде терпентина, имеющие низкую температуру горения по сравнению с метаном, могут препятствовать их нормальной работе.
- 2. Пары «более тяжелых» углеводородов плохо распыляются внутрь датчика LEL, что приводит к заниженным выходным значениям.** Пары некоторых «более тяжелых» углеводородов (например, терпентина) плохо проникают сквозь металлокерамический пламегаситель в датчиках LEL. Пламегаситель необходим для того, чтобы предотвращать самовозгорание датчика, но он не может предотвратить попадание легких газов вроде метана, пропана и этана на измерительный мост Уитстона. Вместе с тем пары «тяжелых» углеводородов вроде терпентина, бензина, дизельного топлива и т. д. плохо проникают сквозь пламегаситель, поэтому меньше пара попадает на измерительный мост Уитстона, и, соответственно, датчик показывает меньшие выходные значения.

### Чувствительность датчика с измерительным мостом Уитстона относительно метана

Согласно таблице, реакция датчика с измерительным мостом Уитстона на терпентин равняется около трети (34%) реакции на метан.

Газ/пар	LEL (об. %)	Чувствительность (%)
Дизельное топливо	0,8	30
Гексан	1,1	47
<b>Метан</b>	<b>5,0</b>	<b>100</b>
Пентан	1,5	45
Пропан	2,0	53
Терпентин	0,8	34

Например, если датчик LEL показывает 34% LEL в смеси терпентина с воздухом, фактическое значение LEL составляет около 100%, так как выходное значение датчика при измерении терпентина равняется только 34% соответствующего значения для метана. Показания LEL можно откорректировать, выбрав калибровочный газ, более подходящий для измеряемого газа. Поэтому некоторые производители калибруют датчики LEL гексаном, пентаном или пропаном.

Для исправления показания целевого газа при калибровке метаном можно использовать поправочные коэффициенты (коэффициенты реакции) для газоанализатора — автоматические или введенные вручную. Тем не менее, даже в случае применения правильного поправочного коэффициента датчикам LEL недостает чувствительности для точного измерения LEL терпентина.

Из-за дрейфа показаний датчика в сочетании с неспособностью моста Уитстона к точному измерению концентрации терпентина, газоанализаторы LEL с мостом Уитстона, могут давать работникам ложное чувство безопасности, когда, на самом деле, газы в атмосфере могут воспламениться. В крайних случаях это приводило к травмам при выполнении работ в атмосферах, содержащих огнеопасное количество паров терпентина.

### Использование ФИД для измерения терпентина

Фотоионизационные детекторы (ФИД) — это чувствительные датчики углеводородов, изначально предназначавшиеся для измерения миллионных долей углеводородов в экологической промышленности. ФИД демонстрируют превосходную чувствительность к терпентину и могут надежно измерять его концентрацию в диапазоне 0–2000 ч/млн. 10% LEL терпентина составляют 800 ч/млн (LEL = 0,8 об. % или 8000 ч/млн). Так, если установить для ФИД сигнал тревоги на уровне 800 ч/млн терпентина, он будет соответствовать сигналу тревоги 10% LEL. Из приведенного ниже графика видно, что ФИД выдают наиболее стабильные показания при 10% LEL терпентина (800 ч/млн).

	Показание	Фактическая концентрация (ч/млн)
<b>Показание ФИД</b>	800	800
<b>Заниженное показание ФИД (-10%)</b>	720	720
<b>Завышенное показание ФИД (+10%)</b>	880	880
<b>Показание LEL</b>	10	800
<b>Заниженное показание LEL (-3%)</b>	7	<b>560</b>
<b>Завышенное показание LEL (+3%)</b>	<b>13</b>	<b>1040</b>

**От точности датчика зависит уверенность пользователя.** При 10% LEL ФИД является более точным датчиком:

- Область неопределенности ФИД: 160 ч/млн
- Область неопределенности датчика LEL: 480 ч/млн

Выходит, что у датчика LEL с измерительным мостом Уитстона область неопределенности втрое больше, чем у ФИД. Подробнее о ФИД читайте в документе AP-211 «ФИД для непрерывного мониторинга летучих органических соединений».

### ВЫБОР ФИД ОТ RAE ДЛЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

#### Карманный ФИД ToxiRAE

Доступный индивидуальный ФИД, который помещается в нагрудный карман рубашки.



#### ФИД и мультигазовый анализатор MultiRAE

Детектор ФИД оснащен датчиком кислорода, LEL, двумя датчиками токсичных газов и внутренним насосом, благодаря чему он является эффективным инструментом для применения в любых замкнутых пространствах в целлюлозно-бумажной промышленности.

- Встроенный насос для удаленного забора образцов из замкнутых пространств.
- Непроницаемый корпус для работы во влажных и запыленных средах, встречающихся в целлюлозно-бумажной промышленности.
- Прочный корпус из композитного материала для использования в неблагоприятных условиях.



### ДИОКСИД ХЛОРА

В процессе варки целлюлозы часто приходится отбеливать волокна древесины. На протяжении многих лет их отбеливали с помощью хлора (Cl<sub>2</sub>). Однако одним из побочных продуктов при отбеливании хлором являются токсичные диоксины, которые попадают в окружающую среду вместе с потоками отходов отбеливания. Поэтому возникла необходимость в более экологических способах отбеливания целлюлозы.

Вместо хлора часто используют диоксид хлора ( $\text{ClO}_2$ ). Он отбеливает целлюлозу даже лучше, чем хлор, и не образует потоки токсичных отходов с диоксинами, как при отбеливании хлором. И  $\text{Cl}_2$ , и  $\text{ClO}_2$  являются канцерогенами и токсичны в малых дозах, но  $\text{ClO}_2$  отличается меньшей стабильностью и большей токсичностью. Поэтому с ним следует особенно осторожно обращаться в рабочей среде.

**Сравнение элементарного хлора и диоксида хлора**

Порог	$\text{Cl}_2$	$\text{ClO}_2$
Запах	0,08 ч/млн	0,1 ч/млн
TWA (NIOSH)	0,5 ч/млн	0,1 ч/млн
TWA (OSHA)	1,0 ч/млн	0,1 ч/млн
IDLH	10 ч/млн	5 ч/млн
STEL (предел кратковременного воздействия)		0,3 ч/млн

Хлор ( $\text{Cl}_2$ ) — это зеленовато-желтый газ с едким раздражающим запахом. Его преимущество заключается в том, что его запах легко почувствовать при концентрации от 0,08 ч/млн, то есть намного ниже порога токсического действия (1,0 ч/млн OSHA, 0,5 ч/млн NIOSH). Работники фактически не могут находиться в атмосфере с хлором без надлежащей респираторной защиты.

Диоксид хлора — это газ желтоватого цвета со сладким ароматом, напоминающим хлор или азотную кислоту. Тем не менее, его обонятельный порог и порог токсического действия равны, поэтому, если вы почувствовали  $\text{ClO}_2$ , то вы уже в опасности. Кроме того,  $\text{ClO}_2$  делает обонятельный нерв нечувствительным, и после длительного воздействия человек теряет чувствительность к  $\text{ClO}_2$ . Поэтому желательно иметь газоанализатор под рукой, чтобы измерять концентрацию газа  $\text{ClO}_2$  в рабочей среде.

### **ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И РАЗРЕШЕНИЕ ДАТЧИКА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ДИОКСИДА ХЛОРА**

Новые технологии датчиков позволили создать высокочувствительные датчики, избирательные к диоксиду хлора. Компания RAE Systems разработала газоанализатор, разрешение которого позволяет измерять диоксид хлора с высокой точностью. У большинства газоанализаторов хлора разрешение не превышает 0,1 ч/млн. И этого достаточно, поскольку порог токсического действия хлора (OSHA) составляет 1,0 ч/млн. При этом порог токсического действия диоксида хлора — это лишь 10% соответствующего порога хлора. Поэтому как только газоанализатор с разрешением всего 0,1 ч/млн обнаружит диоксид хлора, сработает тревога. Это может привести к слишком частому срабатыванию ложных тревог. Поэтому разрешение газоанализатора диоксида хлора должно составлять 0,01 ч/млн. У ToxiRAE II от RAE Systems ( $\text{ClO}_2$ ) именно такое разрешение. При работе в чистой среде он показывает 0,00 ч/млн.