

УДК 621.593:546.217

А.В. Кортиков

ОАО «Криогенмаш», пр. Ленина, 67, г. Балашиха Московской области, РФ, 143907

e-mail: kortikov@cryogenmash.ru

ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ОБОРУДОВАНИЕМ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА, ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И ПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА. АЗОТ И АРГОН

Рассмотрены вопросы безопасности при производстве, транспортировании и потреблении азота и аргона. Эти газы не поддерживают жизнь. Они могут вытеснить кислород из атмосферы в ограниченных или замкнутых объёмах, а также находиться в технологическом оборудовании, где требуется проведение тех или иных работ. Особая опасность азота и аргона заключается в том, что они не имеют ни запаха, ни цвета, ни вкуса. Поэтому в зоне со смертельно низкой концентрацией кислорода человек не успевает ничего ощутить вплоть до момента потери сознания. Приведены примеры инцидентов со смертельным исходом в результате асфиксии вследствие нахождения людей в атмосфере с дефицитом кислорода из-за повышенного содержания азота или аргона. В таких инцидентах часто гибнут люди, спешащие на помощь пострадавшим. Основная причина несчастных случаев — отсутствие или игнорирование правил безопасного проведения работ.

Ключевые слова: Азот. Аргон. Кислород. Вдыхаемый воздух. Гипоксия. Ограниченные или замкнутые объёмы. Утечка. Инцидент. Потеря сознания. Процедуры безопасности.

A.V. Kortikov

PRACTICAL SAFETY MATTERS UNDER OPERATION WITH THE EQUIPMENT FOR PRODUCTION, TRANSPORTATION AND CONSUMPTION OF AIR SEPARATION PRODUCTS. NITROGEN AND ARGON

The safety matter under production, transportation and consumption of nitrogen and argon are considered. These gases cannot sustain life. They can displace oxygen from the atmosphere in limited or enclosed volumes, and also can be present in the process equipment, which requires to carry out certain works. Special hazard of nitrogen and argon is that they have neither odor, nor color, no taste. Because of this in the zone with the deadly low concentration of oxygen a person does not have time to feel anything until the moment he loses consciousness. The examples of accidents are given with a fatal outcome as a result of asphyxia due to the people location in the scarce oxygen atmosphere due to high concentration of nitrogen or argon. In such accidents the people, hurrying up to administer the first medical aid for the victims, often die. The main cause of the accidents is absence or disregard of the rules of safe handling of works.

Keywords: Nitrogen. Argon. Oxygen. Inspired air. Hypoxia. Limited or enclosed volumes. Leakage. Accident. Loss of consciousness. Safety provisions.

1. ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно при работе с оборудованием для производства, перевозки и потребления азота и аргона происходят десятки несчастных случаев, при которых гибнут люди. Оба этих газа входят в состав окружающего воздуха и получают при его разделении.

Для разделения воздуха используются установки низкотемпературной ректификации, а также мембранные и короткоциклового адсорбции. Последние два

типа установок разделения в последние годы применяются всё шире, особенно в тех отраслях, где не требуется высокая чистота продуктов и комплексное разделение воздуха. Основное количество кислорода, азота и весь аргон вырабатывается на установках низкотемпературной ректификации воздуха, на них же получают и жидкие продукты.

Для дальнейшей перевозки, хранения и использования продуктов разделения воздуха используют самое разнообразное оборудование: системы хранения, газы-

фикаторы, транспортные цистерны, реципиенты, баллоны и так далее. Однако, несмотря на широкий спектр указанного оборудования, большинство несчастных случаев при работе с азотом и аргоном имеют общие повторяющиеся причины, главной из которых является отсутствие или игнорирование правил безопасного проведения работ.

2. СВОЙСТВА АЗОТА И АРГОНА, РИСКИ ПРИ РАБОТЕ С ИНЕРТНЫМИ ГАЗАМИ

По химическим свойствам аргон представляет собой инертный газ; в большой степени это относится и к азоту, который при нормальных условиях не вступает в химические реакции. Как составляющие вдыхаемого воздуха, эти газы растворяются в крови, однако в обеспечении жизни явным образом не участвуют, представляя собой нейтральный балласт, сопутствующий единственному источнику жизни — кислороду. Обычная концентрация кислорода в воздухе составляет 20,95 % по объёму, азота — 78,08 %, аргона — 0,93 %.

Однако когда азота или аргона во вдыхаемом воздухе становится больше, чем обычно, последствия для человека, который такой воздух вдыхает, могут быть чрезвычайно опасными. Связано это с тем, что эти инертные газы могут вытеснять и замещать собой кислород сначала во вдыхаемом воздухе, а затем и в крови вплоть до уровня, несовместимого с жизнью. В ряде случаев это происходит без каких-либо предварительных симптомов, чему способствуют два фактора. Во-первых, ни один из основных компонентов воздуха не имеет ни запаха, ни цвета, ни вкуса. Поэтому, вдыхая воздух, мы не можем сказать, сколько в этом воздухе кислорода, азота или аргона. Во-вторых, при работе с азотом и аргоном можно оказаться в зоне, где кислорода не просто меньше, чем обычно, например, на 15-20 % по отношению к обычному уровню — его может быть меньше в несколько раз, а иногда и не быть вовсе. Нахождение человека в такой зоне чревато быстрой потерей сознания и смертью.

Как правило, опасными местами, в которых содержание кислорода из-за повышенной концентрации азота или аргона может стать смертельно низким, являются ограниченные или замкнутые объёмы. Это — аппараты, трубопроводы, различного рода ёмкости, в которых по технологии аргон или азот находятся или постоянно, или периодически подаются во время продувки для создания инертной среды. Доступ людей в такие объёмы в процессе нормальной эксплуатации невозможен, но в период испытаний, пусконаладки или ремонтных работ бывает необходимо попасть в них. Например, в воздуходелительной установке (ВРУ) такими объёмами является кожух низкотемпературного блока разделения, который заполнен перлитом и находится под наддувом азота во избежание попадания в кожух влажного воздуха, а также трубопроводы и аппараты предварительного охлаждения воздуха, блока комплексной очистки и блока разделения. При хранении и транспортировании жидких арго-

на и азота опасными местами могут быть зоны вблизи патрубков сброса паров. При использовании аргона особое внимание, помимо ограниченных или замкнутых пространств, следует обращать на траншеи, колодцы, дренажи, ямы, различного рода снижения. Связано это с тем, что аргон, будучи почти на 40 % тяжелее воздуха, при попадании в атмосферу скапливается в низких местах, особенно при недостаточной их вентиляции.

3. ВЛИЯНИЕ ПОНИЖЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА В ВОЗДУХЕ НА ЛЮДЕЙ

Из медицинских источников известно, как влияет пониженное содержание кислорода во вдыхаемом воздухе на человека. До значения концентрации O_2 вплоть до 19 % видимых проявлений нет, но при дальнейшем понижении содержания кислорода начинают развиваться первые симптомы гипоксии — недостаточного снабжения кислородом клеток организма. Сначала это проявляется как быстрая утомляемость. Потом происходит изменение дыхания, в результате чего оно становится частым, учащается также и пульс. Появляются сбои в координации движений, ослабевают способность к логическому мышлению. При понижении содержания кислорода ниже 12 % ситуация становится угрожающей: возникают признаки расстройства рассудка, понемногу синеют губы. Концентрация кислорода в 10 % может привести к обмороку. Налицо будут все признаки серьёзной гипоксии организма: оцепенение, равнодушие, цвет лица изменён, оно сереет, человек теряет способность к осмысленным движениям. При нахождении в атмосфере с содержанием кислорода менее 8 % смерть наступает через 6-8 мин, если концентрация кислорода ниже 6 % — менее чем через минуту человек теряет сознание, происходит остановка дыхания и через 2 мин человек погибает.

Основные проблемы при обращении с аргоном и азотом и большинство возникающих несчастных случаев связаны с попаданием человека в зону, где содержание кислорода ниже смертельно опасной концентрации. При этом промежуточная область, в которой содержание кислорода понижено, но не смертельно, имеет незначительный объём. Люди, как правило, не находятся в этой области настолько долго, чтобы почувствовать недомогание, и, может быть, озаботиться этой проблемой. Один из немногих случаев, когда человек постепенно и сознательно сокращает потребление кислорода — это подъём в горы.

Известно, что при восхождении на горные вершины большинство людей, начиная с определённой высоты, испытывает кислородное голодание, которое так и называется — горная болезнь. Это явление достаточно подробно описано, в том числе в книгах о восхождении на Эверест [1]. При подъёме в горы происходит не снижение концентрации кислорода — она остаётся примерно на уровне 21 %. Происходит снижение общего давления воздуха, а значит и снижение парциального давления O_2 . Количество вдыхаемого за

один вдох кислорода уменьшается. Поэтому можно соотнести это снижение с эквивалентным уменьшением концентрации кислорода. Данные по такому пересчёту для воздуха как идеального газа приведены в таблице. Примерно до 2000-2500 м обычный человек не испытывает каких-либо проявлений гипоксии. Они возникают на высотах 3000 м и выше. Но достаточно длительное нахождение на такой высоте приводит к адаптации организма, уменьшению проявлений кислородного голодания при подъёме на большие высоты. Такой метод используется практически во всех восхождениях. Но даже на высоте Эвереста, где неоднократно гибли люди, в том числе и от гипоксии, содержание кислорода намного превышает те значения, которые бывают в реальных условиях работы с оборудованием, в котором используются инертные газы. Например, входение в зону с содержанием кислорода 4 % можно сравнить с моментальным подъёмом на высоту 14 км, что превышает высоту Эвереста (8848 м) почти на 60 %.

Зависимость эффективной концентрации кислорода от высоты над уровнем моря

Высота над уровнем моря, м	Эффективная концентрация кислорода, %
0	20,95
1000	18,6
2000	16,5
3000	14,7
5000	11,6
7000	9,1
8848	7,3

Весьма показательна зависимость человека от его основных жизненных ресурсов. Если без еды человек может прожить сотни часов, без воды — десятки часов, то в отношении кислорода счёт идет на секунды, и ситуация осложняется тем, что при быстром входении в зону со смертельно низким содержанием кислорода человек ничего не успевает ощутить. Примерно через два-три вдоха человек в инертной среде, где нет кислорода, теряет сознание, и если его не спасти в течение 1-2 мин, смерть неотвратима.

4. НЕСЧАСТНЫЕ СЛУЧАИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ, ПЕРЕВОЗКЕ, ПОТРЕБЛЕНИИ

Рассмотрим несколько трагических случаев, относящихся к обсуждаемой проблеме.

4.1. Во время сдачи в эксплуатацию крупной ВРУ произошёл инцидент на азотном скруббере [2]. В его насадочном аппарате охлаждают стекающую вниз воду за счёт тепло- и массообмена с поднимающимся потоком отбросного азота. Содержание кислорода в отбросном азоте от 1 до 2 %. После прохождения через скруббер отбросный азот через верхний открытый патрубок свободно выходит в атмосферу. Блок был пущен в работу, когда трое рабочих подрядной организации заканчивали покраску азотного скруббера

(рис. 1). Для удобства работы рабочие положили на верхний патрубок скруббера доску, по которой можно было перейти на другую его сторону. Один маляр, взобравшись на доску, попал в струю отбросного азота, потерял координацию или сознание и упал внутрь скруббера. Двое его коллег бросились к нему на помощь, взобравшись на доску, и их постигла та же участь. Все трое погибли до того, как их вытащили.

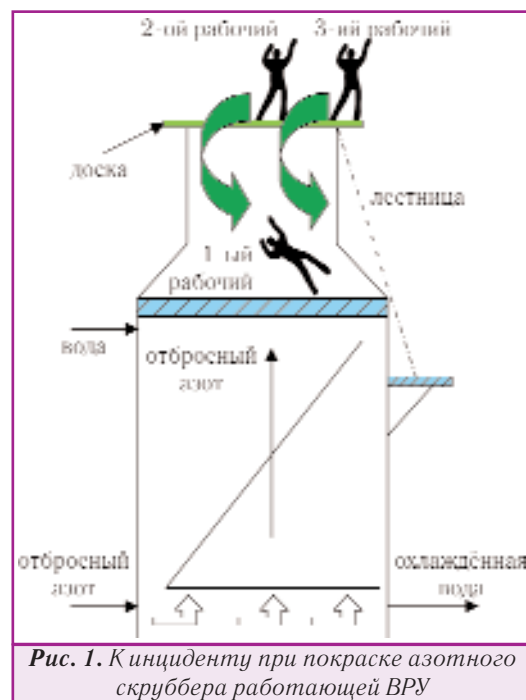


Рис. 1. Кинциденту при покраске азотного скруббера работающей ВРУ

4.2. В 2009 г. при монтаже ВРУ погиб инженер с 20-летним опытом работы [3]. Во время испытаний аппаратов и трубопроводов ВРУ на прочность и герметичность проводился их наддув с помощью азота. Инженер выполнял проверку трубопроводов. После 4-часового отсутствия он был найден мёртвым в кожухе насосов, где была утечка азота. Персонального газоанализатора у него не было, и на монтаже не была внедрена система допуска к опасным работам.

4.3. 20 мая 2008 г. в порту Эверглейдс во Флориде произошел инцидент с утечкой аргона [4]. Контейнер-цистерна с жидким аргоном накануне вечером была погружена на сухогруз «Madeleine» (фото 2). В 3 ч ночи члены команды сухогруза сообщили капитану порта о плохом самочувствии и головокружении. По приказу капитана порта бригадир докеров спустился к месту расположения контейнера для проверки возможной утечки аргона и потерял сознание. Капитан порта был на борту сухогруза и объявил эвакуацию. Уже после этого двое докеров бросились на помощь своему коллеге, обмотав головы рубашками. очевидцы видели, как один из докеров потерял сознание и упал, а более молодой, которому было 25 лет, пытался взобраться вверх по лестнице, но упал в трюм, где уже лежали его товарищи. В госпитале была определена причина смерти — асфиксия, с многократным превышением концентрации аргона в крови у пострадавших по сравнению с её нормальным значением.



Фото 2. Сухогруз «Madeleine», на котором произошёл инцидент с утечкой аргона

В ограниченном пространстве корабля, заставленном контейнерами, количество инертного газа, которое может вытеснить кислород из воздуха до смертельно низких концентраций, гораздо меньше, чем на открытом воздухе. Повышенная опасность аргона, как уже отмечалось, обусловлена тем, что этот газ тяжелее воздуха и поэтому скапливается в пониженных местах.

Использование азота и аргона — это самая опасная область работы с инертными газами по числу случаев асфиксии. Создание защитной среды за счёт продувки азотом и аргоном аппаратов, трубопроводов, ёмкостей, зон обработки является широко распространённым технологическим процессом в металлургическом производстве, химической и нефтехимической промышленности, а также в нефтепереработке. А сварка с использованием аргона используется настолько широко, что трудно назвать область промышленности, где бы она не применялась.

4.4. В марте 2007 г. двое сварщиков выполняли ремонтные работы в техническом резервуаре парфюмерной фабрики в Квебеке, Канада. Сварочные работы проводились с использованием аргона, и резервуар был открыт. Трагедия произошла на следующий день, когда рабочие вернулись и спустились в резервуар для продолжения работ. В оставленном сварочном оборудовании была утечка аргона, который скопился в ёмкости. Рабочие потеряли сознание, и это заметила служащая фабрики. Она владела приёмами оказания первой помощи, спустилась к пострадавшим, и, пытаясь помочь им, также потеряла сознание. Никого из пострадавших спасти не удалось. При обследовании места инцидента замеренная концентрация кислорода в бассейне составила 10 %.

Случаев, когда люди, спешащие на помощь пострадавшим, сами становятся жертвами асфиксии, очень много. В работе [5] проведён анализ причин и обстоятельств 55-ти инцидентов, произошедших в ограниченных пространствах. Во время этих инцидентов 88 человек погибли от асфиксии, из них 34 человека погибли, пытаясь спасти пострадавших. В работе [6] сообщается о 8-ми несчастных случаях, в которых при попытке спасения потерявших сознание людей погибли десять человек; в двух случаях пострадавших удалось спасти, но спасатели погибли. Поэтому следует признать, что одной из самых трудных и трагичных

проблем, связанных с несчастными случаями из-за недостатка кислорода, является обычный человеческий инстинкт помочь другому человеку, оказавшемуся в беде.

4.5. 5 ноября 2005 г. на нефтеперерабатывающем заводе компании «Valero» в шт. Делавер, США произошёл инцидент в реакторе установки гидрокрекинга [7]. Эта установка предназначена для получения лёгких фракций углеводородов из тяжёлых фракций с использованием катализатора и водорода высокого давления. Во время плановой замены отработанного катализатора реактор всё время продувался азотом, который выходил через верхний патрубок — единственное открытое место реактора (фото 3). После загрузки катализатора патрубок прикрыли полиэтиленовой пленкой и прижали деревянным щитом.



Фото 3. Верхний патрубок реактора нефтеперерабатывающего завода «Valero»

Управляющий установкой выписал ночной смене допуск на проведение монтажных работ по установке колена, соединяющего верхний патрубок реактора с расположенным далее оборудованием. Во время подготовки рабочего места после удаления деревянного щита и плёнки было обнаружено, что на распределительной тарелке реактора лежит кусок упаковочной ленты. Проводящий работу котельщик знал, что наличие посторонних предметов на тарелке не допускается, и попробовал вытащить ленту с помощью отрезка проволоки. Очевидец запомнил, что рабочий пытался, стоя на коленях над патрубком, достать что-то из реактора, засунув туда проволоку. Никто не видел, что произошло дальше, но он либо упал в реактор, либо спустился туда сам.

После этого на площадку поднялся бригадир и администратор ночной смены. Увидев своего рабочего внутри реактора без движения, бригадир схватил лестницу и спустился в реактор для оказания помощи, но сам потерял сознание. Администратор объявил тревогу и вызвал аварийную бригаду, которая, проверив атмосферу внутри реактора, установила, что содержание кислорода в ней около нуля. Двое спасателей в изолирующих аппаратах спустились в реактор и с помощью треноги и троса вытащили пострадавших. На это ушло относительно много времени, так как у

пострадавших не было страховочных поясов, а патрубок реактора имел диаметр 600 мм (рис. 4). Люди находились в бескислородной атмосфере около 10 мин, и никаких шансов на выживание у них не было.

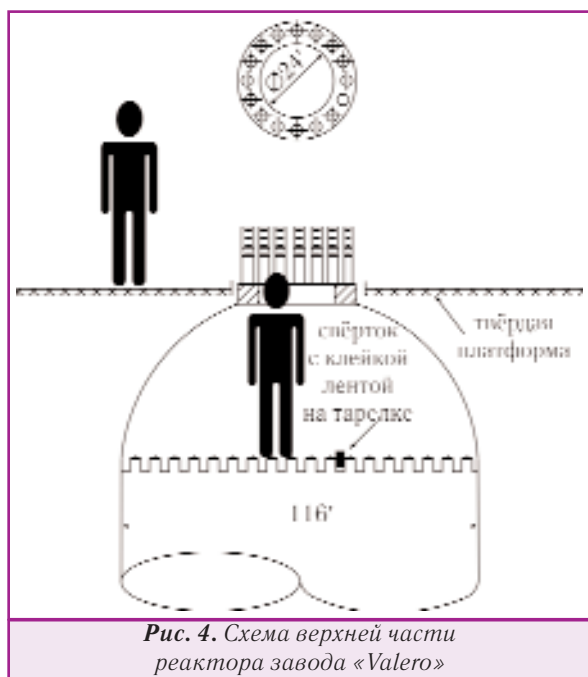


Рис. 4. Схема верхней части реактора завода «Valero»

5. ПРИЧИНЫ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ И СПОСОБЫ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

Подавляющее большинство смертельных случаев при обращении с азотом и аргоном является не результатом непредвиденных обстоятельств, а отсутствием или нарушением процедур безопасности. Общие правила безопасности при производстве и потреблении продуктов разделения воздуха (ПРВ) в России изложены в документе Ростехнадзора ПБ 11-544-03. Ниже приведён ряд статей этого документа, непосредственно относящихся к работе с азотом и аргоном, а также к работам в замкнутых или ограниченных объёмах:

- Объёмная доля O_2 в воздухе производственных помещений производства и потребления ПРВ должна составлять не менее 19 % и не более 23 %; должна обеспечиваться бесперебойная работа систем приточно-вытяжной вентиляции. Газовый анализ — автоматический, с устройством сигнализации.

- Система продувок азотных и аргоновых технических устройств и коммуникаций должна исключать возможность поступления ПРВ в помещение. Допускаются только нормативные утечки и предусмотренные проектом сбросы, с удалением их системой вентиляции.

- Осмотр и очистка канализационных сетей и колодцев должны проводиться по графикам и в соответствии с порядком проведения газоопасных работ.

- В каждой организации должен быть составлен перечень технических устройств, ремонт которых должен проводиться с применением бирочной системы,

нарядов-допусков и разработкой проекта организации работ.

- Технические устройства, остановленные для внутреннего осмотра, чистки или ремонта, должны быть освобождены от вредных или взрывоопасных газов, паров, пыли и продукты. Должен быть выполнен анализ воздушной среды на содержание кислорода.

- В каждой организации составляется перечень помещений и мест, в которых содержание кислорода может быть менее 19 % и более 23 % в аварийной ситуации, с указанием видов и периодичности контроля и мер по нормализации состава воздуха.

Необходимым условием для предотвращения несчастных случаев является комплексный подход к обеспечению безопасности, когда анализируется и принимается во внимание максимальное число факторов, связанных с угрозами для жизни. Следующий пример наглядно показывает как расчёты при организации работ, так и эффективные меры по обеспечению безопасности, позволившие в результате быстрых и решительных действий спасти двух пострадавших.



Фото 5. К инциденту при установке оголовка на азотном скруббере

На работающей ВРУ требовалось установить оголовки на азотный скруббер для поворота потока [2]. Рабочие находились на площадке скруббера на высоте 10 м (фото 5), когда оголовок опускали краном. Они имели допуск на проведение работ, прошли инструктаж и имели портативный кислородный газоанализатор. Проводимые работы с земли контролировал инспектор, у которого была связь с крановщиком по радио. При опускании оголовка поток отбросного азота развернулся и оказался направлен прямо на рабочих. Сработала звуковая сигнализация газоанализатора, указывая на недопустимо низкую концентрацию кислорода, и один рабочий упал в обморок. Затем и второй рабочий, бросившийся на помощь первому, тоже потерял сознание. Инспектор понял, что произошло, и дал крановщику приказ на поднятие оголовка. После его поднятия рабочие быстро пришли в себя без каких-либо последствий.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процедуры обеспечения безопасности при работе с инертными газами должны разрабатываться на основе оценки рисков и включать такие моменты, как определение потенциально опасных участков работ; необходимость использования изолирующих аппаратов; свободный доступ в зону и выход из зоны проведения работ; периодический или постоянный анализ воздуха; использование персональных газоанализаторов; обеспечение резерва и постоянного внешнего контроля, а также дополнительного защитного и спасательного оборудования. Все рабочие и другие участники работ должны пройти инструктаж и иметь ясное представление об опасностях, связанных с инертными газами и снижением концентрации кислорода во вдыхаемом воздухе. Цель таких процедур заключается в том, чтобы рабочие и специалисты ни при каких условиях не оказались в среде с пониженным содержанием кислорода без предупреждающих и защитных средств. Если же такой случай все-таки произошёл, должны быть

приняты эффективные меры для быстрого проведения спасательной операции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Месснер Р. Хрустальный горизонт. Через Тибет к Эвересту. — М.: Планета, 1990. — 272 с.
2. European Industrial Gases Association/ Safety Newsletter NL № 78/03/E.
3. Asia Industrial Gases Association/ Safety Bulletin 05/10.
4. <http://www.justnews.com/news/16336282/detail.html>
5. Manwaring J.C., Conroy C. Occupational confined space — related fatalities: surveillance and prevention// Journal of Safety Research. — 1990. — V. 21. — P. 157-164.
6. Preventing occupational fatalities in confined spaces// NIOSH Publication. — January, 1986. № 86-110.
7. US Chemical safety and hazard investigation board. Valero refinery case study/ № 2006-02-I-DE.

2 Международная специализированная выставка

ГАЗ-ЭКСПО '2011

Газ: природный, сжиженный, сжатый, технический.
Оборудование, газосберегающие технологии

15 -17 марта 2011 г.

Украина. Киев. Международный Выставочный Центр
(Броварской пр-т, 15)

При содействии:
Министерства энергетики и угольной промышленности Украины
Газовой ассоциации Украины
Украинской ассоциации производителей технических газов «УА-СИИ МА»

**В программе – обучающие семинары,
тренинги для специалистов**

Организатор **AUTOEXPO** Главный интернет-партнер **<META>**
www.meta.ua

За информацией и заявками на участие обращаться:
Тел.: +38 (044) 351-7700, 351-7711
Факс +38 (044) 351-7715
e-mail: office@autoexpo.ua
www.autoexpo.ua