

ОГЛАВЛЕНИЕ ([назад](#))[ОТ АВТОРА](#)[ВСТУПЛЕНИЕ](#)[Глава 1. АЗОТНО-КИСЛОРОДНЫЕ СМЕСИ](#)[Глава 2. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ](#)[Глава 3. ФИЗИКА ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ](#)[Глава 4. ПРИВЕДЕННАЯ ГЛУБИНА](#)[Глава 5. КИСЛОРОД](#)[Глава 6. ТАБЛИЦЫ NTL](#)[Приложение. Декомпрессионные таблицы Булмана \(Buhlmann\) для воздуха.](#)[СНОСКИ](#)**ОТ АВТОРА** ([назад](#))

Эта книга – учебное пособие по использованию обогащенных кислородом смесей NITROX (нейтрокс) при подводных погружениях с аквалангом. В ее основу лег учебный курс, разработанный TDI¹ на основе стандартов Национальной Океанической и Атмосферной Администрации США (NOAA).

Пособие предназначено для самостоятельного изучения, поэтому каждая тема рассматривается подробно на примерах и включает в себя вопросы для самоконтроля, что способствует правильному пониманию и лучшему усвоению материала.

Особенность данного курса заключается в том, что он чисто теоретический и по международным стандартам (TDI) для получения квалификации не требует практических занятий (погружений). Курс основывается на заранее имеющихся знаниях и навыках по подводному плаванию с аквалангом и является первым шагом в технический дайвинг² для всех, кто решил освоить преимущества дыхательных смесей.

Цель курса – обучение подводных пловцов-любителей использованию в различных условиях смесей NITROX с содержанием кислорода от 21% до 40%. Использование смесей, содержащих более 40% кислорода, а также погружения с прохождением декомпрессии на смесях требуют дополнительной подготовки и не входят в программу данного курса.

Получить сертификат и право использования смесей NITROX можно как в международных организациях, специализирующиеся на техническом дайвинге, так и в клубах, проводящих подготовку подводных пловцов, применяющих в качестве дыхательной смеси воздух. К последним относятся такие известные и крупные объединения, как PADI и CMAS. Чувствуя возрастающую популярность и перспективность этого направления, они разработали учебные программы, дающие базовые знания по техническому дайвингу. Несомненным лидером и инициатором в этой группе является Профессиональная Ассоциация Дайвинг-Инструкторов (PADI), организовавшая в 1996 году курс "Enriched Air Diver". Среди международных клубов технического дайвинга стоит выделить американскую компанию TDI, проводящую подготовку любителей и профессионалов по использованию смесей NITROX, ТРИМИКС и рециркулярных аппаратов с 1994 года.

Курсы по техническому дайвингу различных клубов созданы на основе единых стандартов, разработанных NOAA, и разница между ними заключается лишь в названиях и количествах квалификаций подготовки пловцов, а также в форме подачи материала.

Что касается требований при поступлении на курс, они в основном тоже стандартные:

- возраст – не моложе 15 лет,
- лицензия подводного пловца первой ступени (подводный пловец CMAS одна звезда, опен ватер дайвер PADI, NAUI, SSI, IDD, новис дайвер BS-AC...),
- наличие минимум 10 погружений на открытой воде, зарегистрированных в личном журнале погружений (логбуке).

Этот курс также может проводиться в сочетании с курсом второй ступени (подводный пловец CMAS две звезды, адванс-курс PADI, NAUI, SSI, IDD, спорт-дайвер BS-AC и т.д.).

ВСТУПЛЕНИЕ [\(назад\)](#)

Вымыслы и реальность

Многие ошибочно считают, что смеси NITROX применяются при глубоководных погружениях. Некоторые опасаются, что использование смесей NITROX требует больших финансовых затрат, связанных с необходимостью пройти дорогостоящий учебный курс и приобрести специальное и недешевое оборудование. Кто-то, увидев надпись "NITROX" на баллонах профессиональных водолазов, сделал вывод, что они предназначены только для выполнения специальных подводных работ. Но, наверное, самым большим и распространенным заблуждением является то, что смеси NITROX небезопасны и что это вообще слишком сложно и не нужно. Не верьте слухам и попробуйте разобраться во всем сами.

Обогащенные кислородом смеси NITROX, содержащие менее 40% кислорода, применяются при погружениях до 40м (130 футов) и не требуют специального оборудования. То есть вы можете пользоваться своим обычным снаряжением. Учебный курс довольно прост, его продолжительность обычно не превышает четырех академических часов, а стоимость – цена "среднего" гидрокостюма! Так что для того, чтобы получить сертификат найтронкс-дайвера и пользоваться этими смесями, совсем не обязательно быть богатым, как Крез, образованным, как профессор Гарварда или профессиональным водолазом.

Растущая популярность NITROX обусловлена существенным увеличением возможностей использования акваланга и исключительной безопасностью, которую доказывает опыт нескольких тысяч подводных пловцов, пользующихся смесями NITROX с 1985 года.

Выбрав для себя смеси NITROX, вы будете иметь возможность гораздо дольше находиться под водой, существенно сократите время декомпрессионных остановок и интервалов между погружениями, а также значительно снизите риск заболеваний и патологических состояний, связанных с переизбытком азота в организме (азотный наркоз, декомпрессионная болезнь, образование интерстициальных пузырьков, усталость и сонливость после погружений).

Практически, смесями NITROX дышится также легко, как и обычным воздухом. При их применении надо уметь пользоваться таблицами погружений, следить за количеством смеси в баллоне и не превышать определенных ограничений по глубине и времени погружения. И все. Уверен, что каждому, кто хоть раз погружался с аквалангом, эти "премудрости" не в новинку. Так что отбросьте последние сомнения и без колебаний переходите к первой главе.

И пусть теория не приведет вас к депрессии, а практика – к декомпрессии!

Глава 1. АЗОТНО-КИСЛОРОДНЫЕ СМЕСИ [\(назад\)](#)

Дыхание

Для начала немного остановимся на такой важной функции организма, как дыхание, и освежим в памяти некоторые основные моменты.

Дыхание – это совокупность процессов, обеспечивающих потребление организмом кислорода и выделение двуокиси углерода (CO_2) – продукта метаболизма клеток. Поступление кислорода из воздуха в клеткам необходимо для биологического окисления органических веществ, в результате которого освобождается энергия, необходимая для жизнедеятельности организма. В процессе биологического окисления образуется двуокись углерода, подлежащая удалению из организма. Кроме того, дыхание участвует в поддержании постоянства реакции жидкостей и тканей внутренней среды организма, а также температуры тела.

Дыхание включает в себя следующие процессы:

Внешнее дыхание или вентиляция легких. Происходит за счет периодического изменения объема грудной полости при сокращении дыхательных межреберных мышц и диафрагмы.

Обмен газов в легких. Происходит между альвеолярным воздухом и кровью капилляров малого круга кровообращения. При этом кислород вступает в химическую реакцию с гемоглобином, находящимся в красных кровяных тельцах, образуя окись гемоглобина.

Транспорт кровью химически связанного кислорода из малого круга кровообращения (легкие) через легочную вену в левое предсердие, далее в левый желудочек сердца и, наконец, через аорту в большой круг кровообращения.

Обмен газов в тканях происходит между кровью капилляров большого круга кровообращения и клетками тканей. При этом окись гемоглобина, превращаясь обратно в гемоглобин, снабжает освободившимся кислородом клетки.

Внутреннее дыхание – биологическое окисление в клетках организма.

Регуляция дыхания осуществляется дыхательным центром, который представляет собой группу нервных образований, расположенных на разных уровнях центральной нервной системы. Основные ядра дыхательного центра находятся в продолговатом мозгу. Хочу обратить ваше внимание на то, что дыхательный центр реагирует только на содержание двуокиси углерода (CO_2) в крови и практически невосприимчив к концентрации в ней кислорода. К примеру, увеличение содержания двуокиси углерода (CO_2) в крови всего на 0,2% приводит к рефлекторному увеличению вентиляции легких на 200%, в то время как увеличение или уменьшение кислорода в крови на те же 0,2% останется для организма "не замеченным". Это очень важно, так как мы можем использовать для дыхания смеси с увеличенным или уменьшенным за счет инертных газов количеством кислорода, с определенными ограничениями, естественно, не нарушая при этом процесса внешнего дыхания. Но об этом позже.

Для справки:

- жизненная емкость легких взрослого человека в среднем составляет 3-5 литров
- число дыхательных движений в покое 16-20/мин
- легочная вентиляция взрослого человека в покое 6-10 л/мин
- легочная вентиляция взрослого человека при физической нагрузке 50-100 л/мин
- поглощение кислорода в покое 250-400 мл/мин
- выделение двуокиси углерода (CO_2) в покое 200-300 мл/мин

Воздух

Теперь давайте вспомним, что вдыхаемый нами атмосферный воздух – это смесь газов, состоящая приблизительно из 21% кислорода и 79% азота, а состав выдыхаемого воздуха уже несколько отличается от атмосферного и состоит примерно из 16% кислорода, 74% азота и около 10% двуокиси углерода (CO_2) и паров воды ³.

В отличие от кислорода, азот как составляющий газ воздуха, которым мы дышим, не участвует в альвеолярных обменных процессах. Азот инертен, его незначительное количество в растворенном состоянии всегда присутствует в организме и не доставляет нам никаких хлопот, пока мы находимся в зоне практически неизмененного атмосферного давления. Но во время подводного плавания с аквалангом мы создаем себе условия с резко изменяющимся давлением окружающей среды, подчас во много раз превышающим привычное атмосферное. Чтобы иметь возможность находиться в этих условиях, мы вынуждены использовать для дыхания воздух под давлением, равным давлению окружающей нас среды. Вот здесь-то и возникают проблемы с азотом, который насыщает собой кровь, а затем и ткани нашего организма. Происходит это из-за разницы между давлением вдыхаемого с воздухом азота и азота, растворенного в крови и тканях.

Создаваемый таким образом градиент давления азота заставляет его растворяться в организме при погружении и выделяться при всплытии.

Во время погружения увеличивается давление подачи воздуха из регулятора в соответствии с увеличением давления окружающей среды. Концентрация азота в легких становится выше, чем в крови и тканях организма, что приводит к растворению в них дополнительного азота (закон Генри). Во время всплытия давление понижается, и азот переходит из тканей, где он оказался в большей концентрации в кровь, где концентрация снизилась. Затем с кровью он переносится в легкие и по той же причине "испаряется" в менее насыщенный альвеолярный воздух, покидающий легкие во время выдоха.

При резком снижении наружного давления азот также имеет свойство из растворенного состояния переходить в газообразное прямо в теле, образуя в крови и тканях пузырьки, которые являются причиной кессонной болезни. Именно из-за подобного поведения азота мы вынуждены выполнять множественные декомпрессионные процедуры, такие, как: ограничение времени погружения в зависимости от глубины, ограничение скорости всплытия, длительные декомпрессионные остановки перед подъемом на поверхность, соблюдение интервалов на поверхности между погружениями и перед предстоящим авиаперелетом. Но, даже соблюдая все меры предосторожности, мы все равно подвергаемся патологическому влиянию азота. Это проявление "азотного наркоза" на глубине, а так же усталость и сонливость после погружений, обусловленные наличием в организме так называемого остаточного азота. Одним словом, этот "инертный" газ во многом ограничивает наши возможности в подводном плавании и делает его при определенных условиях небезопасным для здоровья. Как хорошо было бы избавиться от этих проблем вообще, или хотя бы уменьшить влияние азота на организм.

Смеси NITROX

NITROX – это обобщенное название всех смесей азота с кислородом. Отсюда и название – NITROX, образованное от двух английских слов: nitrogen (азот) и oxygen (кислород). Смеси NITROX, как вы уже, наверное, обратили внимание, состоят из тех же самых газов, что и обычный атмосферный воздух. Так что воздухом мы называем вполне конкретную смесь азота и кислорода (79% – N₂ и 21% – O₂), и он является лишь одним из частных случаев NITROX.

Поздравляю тех, для кого это новость, – вы уже дышите NITROX!

В данном курсе мы будем рассматривать смеси NITROX с повышенным содержанием кислорода (от 21% до 40%). Проще говоря, это обогащенный кислородом воздух с соответственно пониженным содержанием азота. Обогащенную кислородом воздушную смесь NITROX принято обозначать сокращенно EANx (Enriched Air Nitrox⁴) и после буквы "экс" на конце сокращения указывать процент содержания в ней кислорода. К примеру: одна из наиболее распространенных смесей NITROX содержит 32% кислорода и обозначается EANx32, другая содержит 36% кислорода и обозначается EANx36.⁵ Если в смеси NITROX кислород составляет 32%, то азот, естественно, занимает в ней оставшиеся 68%. Когда на баллоне вы видите бирку "EANx36", как вы думаете, каков процент азота в этой смеси? Если вы думаете, что 64%, вы правы.

Так как обогащенный кислородом NITROX содержит меньшее количество азота, чем воздух, существенно снижается его вредное влияние на организм. То есть, используя смеси NITROX, вы будете иметь возможность гораздо дольше находиться под водой, существенно сократите время декомпрессионных остановок и интервалов между погружениями, а также значительно снизите риск заболеваний и патологических состояний, связанных с переизбытком азота в организме: азотный наркоз, кессонная болезнь, образование интерстициальных пузырьков, усталость и сонливость после погружений. Эти преимущества очевидны. Но смеси NITROX, кроме сниженного содержания азота, имеют еще и соответственно повышенное количество кислорода, который, естественно, тоже влияет на наш организм. Поэтому они также требуют строгого соблюдения правил их использования, внося свои ограничения.

Лимиты

Ограничения, связанные с кислородом, не новость для подводных пловцов, использующих для дыхания обычный воздух. Но так как при рекомендуемых для погружений глубинах до 40м (130 футов) кислород в составе воздуха опасности не представляет, основные курсы плавания с аквалангом не рассматривают проблем, связанных с его влиянием на организм, и ограничиваются лишь упоминанием о максимально безопасной глубине погружений. С использованием воздуха в соленой воде она составляет 66м (218 футов) и связана с порогом кислородной интоксикации центральной нервной системы организма. Однако не следует забывать, что нормы устанавливаются для большинства и не учитывают индивидуальные особенности каждого человека в отдельности.

Погружаться в рамках всяких ограничений – дело привычное. Используя воздух в качестве дыхательной смеси, вы так или иначе, вынуждены учитывать азотное время, так

как превышение его допустимого предела может привести к кессонной болезни, медленно всплывать, чтобы избежать баротравм, контролировать глубину погружения, чтобы исключить проявления азотного наркоза. При погружениях на смесях NITROX также нужно знать ограничения (лимиты), связанные с кислородом, и строго их придерживаться.

Итак, кислород ограничивает глубину погружения и время пребывания под водой для всех подводных пловцов, но особенно для погружающихся на смесях NITROX. Для начала определимся с ограничениями, подчеркнув при этом, что превышение норм всегда связано с риском. С увеличением содержания кислорода в смеси уменьшается допустимая глубина погружения. Допустимая глубина погружений на EANx36 (34м в соленой воде) меньше, чем на EANx32 (40м в соленой воде), так как EANx36 содержит больше кислорода. Безопасная же глубина погружений на чистом кислороде равна 6м (20 футов). Любопытно, что для кислорода и азота ограничивающими являются разные факторы. Для азота – это время пребывания на глубине, а для кислорода – сама глубина. В [главе 3](#) мы подробно остановимся на лимитах при использовании обогащенных кислородом смесей и соответствующих расчетах, а физиологические причины этих ограничений и последствия, связанные с их превышением, будут рассмотрены в [главе 5](#).

После тщательного изучения вопроса и неоднократного использования, большинство подводных пловцов приходит к выводу, что преимущества смесей NITROX перевешивают неудобство соблюдения дополнительных ограничений, связанных с повышенным содержанием кислорода в этих смесях.

Использование смесей NITROX особенно рекомендовано для людей пожилого возраста, для страдающих низким или высоким кровяным давлением, ожирением или обезвоживанием организма. А также при плохом самочувствии, наличии ран, после "вчерашнего" употребления алкоголя или наркотиков, во время и после курса приема лекарственных препаратов, после недавно перенесенной декомпрессионной болезни. Подводным пловцам, к которым не относится все вышесказанное, рекомендуется использовать смеси NITROX для большей безопасности во время и после подводного плавания, для продления времени пребывания под водой и увеличения количества ежедневных погружений за счет сокращения интервалов между ними.

Вопросы для самоконтроля (Глава 1)

1. Смеси NITROX могут использовать только профессиональные высококвалифицированные водолазы.

Да/Нет

2. Воздух состоит приблизительно на 21% из кислорода и на 79% из азота. EANx содержит больше кислорода и, соответственно, меньше азота.

Да/Нет

3. Какой газ, входящий в состав воздуха и NITROX, может стать причиной декомпрессионной болезни, наркотического состояния и ограничивает время пребывания под водой?

- а) кислород
- б) азот
- в) гелий
- г) углекислый газ

4. Каков процент содержания кислорода в двух наиболее распространенных смесях NITROX?

- а) 32% и 36%
- б) 32% и 40%
- в) 16% и 21%
- г) 100% кислорода

5. Чем объясняются преимущества использования обогащенного кислородом NITROX для погружений?

- а) низким содержанием кислорода
- б) высоким содержанием углекислого газа
- в) низким содержанием азота
- г) высоким содержанием азота

6. Содержание какого газа повышает риск использования EANx для погружений?
- кислорода
 - азота
 - паров воды
 - углекислого газа
7. Какие два дополнительных ограничения возникают при использовании смесей NITROX?
- кислородный лимит времени и глубина
 - азотный лимит времени и глубина
 - декомпрессионная болезнь и наркозное состояние
8. Какие ограничения глубины установлены для смесей EANx32, EANx36 и чистого кислорода? Выберите правильный ответ, где глубины указаны в том же порядке, в котором был задан вопрос.
- 6м, 34м, 40м в соленой воде
 - 66м, 40м, 34м в соленой воде
 - 40м, 34м, 6м в соленой воде.

Глава 2. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ([назад](#))

Открытый и выделенный Джозефом Пристли в 1774 году кислород нашел свое применение в медицинской практике, началось активное изучение его влияния на организм человека. В 1878 году Пол Берт опубликовывает результаты своих опытов со сжатым кислородом, вслед за этим Генри Флюсс в 1879 году совершает первое, документально подтвержденное, погружение под воду на обогащенном кислородом воздухе. С этого самого момента и началась история подводного плавания с использованием смесей NITROX. Первые таблицы погружений на воздухе, обогащенном кислородом, разрабатывались для вооруженных сил США в 1955 году. В 1965 году они впервые были опубликованы. NOAA (Национальная Океаническая и Атмосферная Администрация США – National Oceanic & Atmospheric Administration USA) начинает использовать смеси NITROX с 1970 года, и в 1979 году печатает таблицы для погружений на смеси с 32-процентным содержанием кислорода и таблицу приведенной глубины в своем справочнике. В 1985 году открывается первая школа, обучающая любителей подводного плавания с аквалангом использованию обогащенных кислородом смесей NITROX. С тех пор число сторонников технического дайвинга увеличивается с каждым годом на несколько тысяч человек.

На сегодняшний день обучением использованию смесей NITROX с выдачей соответствующих сертификатов занимаются как клубы, специализирующиеся на техническом дайвинге, так и клубы, занимающиеся в основном подготовкой подводных пловцов-любителей, использующих в качестве дыхательной смеси воздух.

Производителями дайвинг-оборудования постоянно внедряются новые разработки для технического дайвинга. Совершенствуются компьютеры для погружений с использованием смесей и программное обеспечение для них. Поиски возможностей продлить время пребывания под водой привели к возобновлению разработок дыхательных нитрокс- и тримикс-аппаратов полуоткрытого и закрытого циклов. В связи с необходимостью использования для создания смесей газовых анализаторов, в клубах появилась возможность проводить постоянный контроль воздуха на содержание в нем углеводорода. Таким образом, любительский технический дайвинг вносит свой прогрессивный вклад в развитие подводного плавания в целом.

Вопросы для самоконтроля (Глава 2)

1. В каком году было совершено первое погружение с использованием NITROX?
 - 1774
 - 1879
 - 1970
 - 2000
2. Кто совершил первое, документально подтвержденное, погружение под воду на обогащенном кислородом воздухе?
 - Пол Берт

б) Жак-Ив Кусто

г) Джозеф Пристли

3. В каком пособии впервые были опубликованы таблицы приведенной глубины и таблицы погружений для 32% смеси NITROX?

а) Справочник NOAA

б) Пособие для Вооруженных Сил США

в) Медицинское пособие для водолазов

г) Пособие по NITROX

4. Когда появилась первая школа, обучающая любителей подводного плавания с аквалангом использованию обогащенных кислородом смесей NITROX?

а) 1774

б) 1955

в) 1970

г) 1985

в) Генри Флюсс

Глава 3. ФИЗИКА ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ ([назад](#))

Давление и глубина

Во время погружений мы используем для дыхания газовую смесь под давлением, равным давлению окружающей нас среды. Это давление называется абсолютным. Оно складывается из действующего на нас давления воды и атмосферы. Давление, создаваемое атмосферой на поверхности Земли, называется атмосферным давлением. На уровне моря оно равняется 760 миллиметрам ртутного столба или одной атмосфере (одному бару).⁶ Однако его значение постоянно изменяется в связи с процессами, происходящими в атмосфере. Для обозначения истинного давления введено понятие "абсолютные атмосферы" (ATA). В наших расчетах мы будем применять для выражения абсолютного давления обозначение P_{ATA} .⁷

По европейским стандартам давление в баллоне измеряется в атмосферах (барах), что отражается на манометре, а давление воды измеряется в метрах соленой воды (msw) или метрах пресной воды (mfw) и показывается глубиномером.

Как вы помните, при погружении давление увеличивается на одну атмосферу (1 бар) каждые 10 метров (msw). Следовательно, каждые 10 метров водяного столба (msw) соответствуют увеличению давления на 1 атмосферу (ATA) или 1 бар.

Чтобы вычислять кислородные лимиты погружений, необходимо уметь определять абсолютное давление на определенной глубине. Для определения абсолютного давления (P_{ATA}) нужно прибавить к показанию манометра атмосферное давление в равных единицах. Например, если глубиномер показывает 20 msw (т.е. 2 ATA или 2 бара), то абсолютное давление равно 3-м атмосферам (ATA) или 3-м барам.

Можно также это вычислить математическим путем.

Для этого сначала определим относительное давление на глубине (D)⁸ в атмосферах (Atm) по следующей формуле.

$$P_{Atm} = msw : 10 \text{ msw}$$

Затем переведем относительное давление в абсолютное (P_{ATA}). Для этого прибавим к данной величине давление атмосферы – 1 ATA.

$$P_{ATA} = (D \text{ msw} : 10 \text{ msw}) + 1 \text{ ATA}$$

То есть, на глубине 20 метров абсолютное давление равно:

$$P_{ATA} = (20 \text{ msw} : 10 \text{ msw}) + 1 \text{ ATA}$$

$$P_{ATA} = 2 \text{ ATA} + 1 \text{ ATA}$$

$$P = 3 \text{ ATA (бара)}$$

Теперь давайте рассмотрим другой способ определения абсолютного давления по глубине. Для этого к значению глубины нужно прибавить 10 msw, что равно атмосферному давлению (1 ATA), и разделить на 10 msw.

$$P_{ATA} = (D \text{ msw} + 10 \text{ msw}) : 10 \text{ msw}$$

Применим его к тому же примеру. На глубине 20 метров абсолютное давление равно:

$$P_{ATA} = (20 \text{ msw} + 10 \text{ msw}) : 10 \text{ msw}$$

$$P_{ATA} = 30 \text{ msw} : 10 \text{ msw}$$

$$P = 3 \text{ ATA (бара)}$$

Чтобы определить глубину, зная значение атмосферного давления (1 ATA) от значения абсолютного давления (P_{ATA}) и умножить разницу на 10 msw или умножить значение абсолютного давления (P_{ATA}) на 10 msw и отнять от этого 10 msw, соответствующих влиянию атмосферного давления.

$$D \text{ msw} = (P_{ATA} - 1 \text{ ATA}) \times 10 \text{ msw}$$

или

$$D \text{ msw} = (P_{ATA} \times 10 \text{ msw}) - 10 \text{ msw}$$

Как вычислить, какой глубине в msw соответствует давление 7 ATA?

$$D \text{ msw} = (P_{ATA} - 1 \text{ ATA}) \times 10 \text{ msw}$$

$$D \text{ msw} = (7 \text{ ATA} - 1 \text{ ATA}) \times 10 \text{ msw}$$

$$D \text{ msw} = 6 \text{ ATA} \times 10 \text{ msw}$$

$$D = 60 \text{ msw}$$

или

$$D \text{ msw} = (P_{ATA} \times 10 \text{ msw}) - 10 \text{ msw}$$

$$D \text{ msw} = (7 \text{ ATA} \times 10 \text{ msw}) - 10 \text{ msw}$$

$$D \text{ msw} = 70 \text{ msw} - 10 \text{ msw}$$

$$D = 60 \text{ msw}$$

Абсолютному давлению 7 ATA соответствует глубина 60 msw.

Кристалл Дальтона

Закон Дальтона гласит:

"В смеси газов каждый газ имеет свое давление. Давление газовой смеси равно сумме давлений газов, составляющих эту газовую смесь".

Или проще:

"Давление газовой смеси равно сумме давлений ее составляющих".

Формула закона Дальтона выглядит следующим образом:

$$P = Pg_1 + Pg_2 + Pg_3 \text{ и т.д.}$$

P – абсолютное давление газовой смеси,

Pg – давление отдельно взятого газа, обозначенного цифрами 1, 2, 3 и т. д., называется парциальным давлением газа.

Мы знаем, что воздух и NITROX состоят из азота и кислорода. По этому формула Дальтона в применении к ним будет выглядеть так:

$$P = PN_2 + PO_2$$

P – абсолютное давление воздуха,

PN_2 – парциальное давление азота,

PO_2 – парциальное давление кислорода.

В атмосферном воздухе азот занимает 79% объема, а кислород 21%. Естественно, парциальные давления этих газов будут пропорциональны занимаемому ими объему.

Следовательно, абсолютное давление воздуха на уровне моря можно выразить как:

$$1 \text{ ATA} = 0.79 \text{ ATA} + 0.21 \text{ ATA}$$

Если нам известны парциальное давление газа и абсолютное давление газовой смеси, мы можем вычислить процентное содержание этого газа в смеси. Для этого нужно разделить парциальное давление газа на общее давление смеси.

Процентное содержание газа в смеси, выраженное десятичной дробью, называется фракцией газа и обозначается Fg .

$$Fg = Pg : P$$

Теперь мы можем подставить значения O_2 или N_2 вместо "g" в эту формулу и определить фракцию того или другого газа в воздухе. Фракция кислорода (FO_2) равна отношению парциального давления кислорода (PO_2) к абсолютному давлению воздуха (P).

$$FO_2 = PO_2 : P$$

$$FO_2 = 0.21 \text{ ATA} : 1 \text{ ATA}$$

$$FO_2 = 0.21$$

Подставив значения N_2 в формулу, мы получим фракцию азота (FN_2):

$$FN_2 = PN_2 : P$$

$$FN_2 = 0.79 \text{ ATA} : 1 \text{ ATA}$$

$$FN_2 = 0.79$$

Используя эту же формулу, давайте определим фракцию кислорода (FO_2) и фракцию азота (FN_2) в смеси EANx32. Так как кислород в смеси занимает 32% объема, фракция кислорода (FO_2) равна 0.32. Азот занимает в ней соответственно 68% объема, следовательно, фракция азота (FN_2) равна 0.68. Попробуйте определить то же самое для смеси EANx36 самостоятельно. Уверен, что у вас это получится.

Многие подводные пловцы в разговоре употребляют значение фракции кислорода FO_2 со словом **смесь**⁹. Часто можно услышать от погружающихся на NITROX дайверов: "Возьми 36-ую смесь" или "Какая смесь у тебя?" Ну что же, слэнговые выражения глубоко проникли в терминологию дайвинга. Это говорит о его популярности.

Процентное содержание того или иного газа, так же как и фракции газов, не изменяются во время погружений с аппаратами открытого цикла. Однако парциальное давление газов меняется. Если мы погружаемся, используя воздух, то FO_2 будет равна 0.21 как на поверхности, так и на дне, а парциальные давления кислорода (PO_2) и азота будут возрастать прямо пропорционально увеличению абсолютного давления (давления окружающей среды). Соответственно, во время всплытия парциальные давления будут уменьшаться также пропорционально уменьшению давления окружающей среды.

Ниже приведены три формулы, которые используются для расчетов при использовании смесей NITROX.

1. $PO_2 = FO_2 \times P \Rightarrow$ ДОЗА
2. $P = PO_2 : FO_2 \Rightarrow$ ГЛУБИНА
3. $FO_2 = PO_2 : P \Rightarrow$ СМЕСЬ

4. Зная парциальное давление кислорода (PO_2), мы можем определить максимально допустимое кислородом время погружения (кислородный лимит времени).

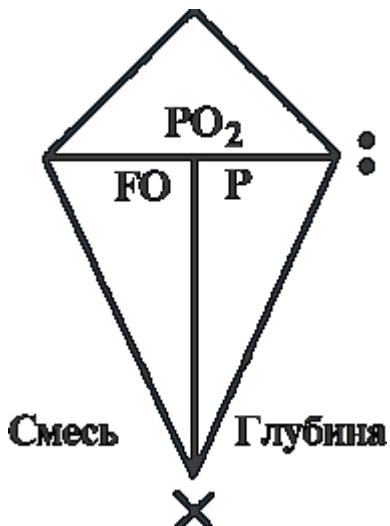
5. Вычислив давление (P), мы определяем максимальную глубину погружения для данной смеси NITROX (кислородный лимит глубины).

6. Рассчитав фракцию кислорода (FO_2), мы находим оптимальный процент содержания кислорода в смеси NITROX для погружения на определенную глубину.

Самый простой способ для запоминания этих трех формул – приведенная ниже схема. Три компонента помещены в форму кристалла: PO_2 в верхнем треугольнике, FO_2 в нижнем левом треугольнике, P в правом нижнем треугольнике. Горизонтальная линия, отделяющая PO_2 от FO_2 и P , обозначает деление. Вертикальная линия, отделяющая FO_2 и P , обозначает умножение.

Это схематичное изображение получило название Кристалл Дальтона.

Содержание кислорода



Используя эту схему, вы сможете составить уравнение, прикрыв ладонью неизвестный компонент или то, что необходимо найти.

Например:

- если закрыть PO_2 , слева останется $FO_2 \times P$,
- если закрыть FO_2 , получится уравнение $PO_2 : P$,
- если закрыть P , оно будет равно $PO_2 : FO_2$.

Кристалл Дальтона послужит вам хорошей подсказкой в дальнейших вычислениях.

Давайте определим парциальное давление кислорода и азота (в ATA) в воздухе на уровне моря.

Составляем уравнение для кислорода:

$$PO_2 = PO_2 \times P$$

Если в Кристалл Дальтона вместо кислорода подставить значение азота (N_2), то получим уравнение для азота:

$$PN_2 = FN_2 \times P$$

В воздухе на уровне моря FO_2 равна 0.21, FN_2 равна 0.79, а P равно 1 ATA.

$$FO_2 \times P = PO_2$$

подставляем значения

$$0.21 \times 1 \text{ ATA} = 0.21 \text{ ATA}$$

$$FN_2 \times P = PN_2$$

подставляем значения

$$0.79 \times 1 \text{ ATA} = 0.79 \text{ ATA}$$

Получаем, что в воздухе на уровне моря парциальное давление кислорода равно 0.21 ATA, а парциальное давление азота 0.79 ATA.

Используя формулу Дальтона, проверим наш результат.

$$PO_2 + PN_2 = P \text{ получаем } 0.21 \text{ ATA} + 0.79 \text{ ATA} = 1 \text{ ATA}$$

Проверка подтверждает, что результат верен.

Теперь применим Кристалл Дальтона для смесей EANx32 и EANx36. В обоих случаях используем значение PO_2 равное 1.6 ATA и найдем P . Таким образом, мы определим максимальную глубину погружения для каждой из смесей, которая называется кислородным лимитом глубины.

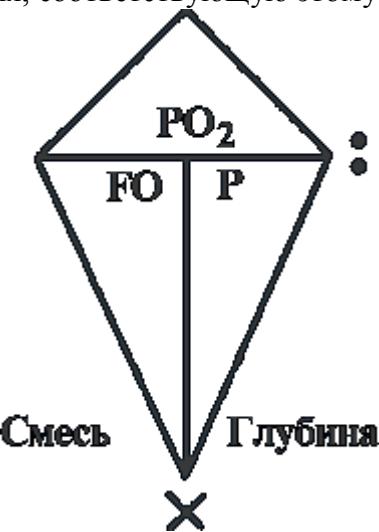
Определение по Кристаллу Дальтона максимальной глубины погружения при использовании смеси EANx32 (кислородный лимит глубины)

Максимально допустимым парциальным давлением кислорода для организма человека считается давление 1.6 ATA¹⁰. Подставив 1.6 ATA и значение фракции кислорода смеси EANx32 равное 0.32 в Кристалл Дальтона, получаем уравнение для нахождения абсолютного давления (P).

$$P_{ATA} = 1.6 \text{ ATA} : 0.32$$

$$P = 5 \text{ ATA}$$

Определяем глубину погружения, соответствующую этому абсолютному давлению:



$$D \text{ msw} = (5 \text{ ATA} - 1 \text{ ATA}) \times 10 \text{ msw}$$

$$D = 40 \text{ msw}$$

Максимальная глубина погружения с использованием EANx32 – 40 msw.

Определение по Кристаллу Дальтона максимальной глубины погружения при использовании смеси EANx36 (кислородный лимит глубины)

Составляем уравнение для нахождения абсолютного давления (P):

$$P_{ATA} = 1.6 \text{ ATA} : 0.36$$

$$P = 4.44 \text{ ATA}$$

Определяем глубину погружения, соответствующую этому абсолютному давлению:

$$D \text{ msw} = (4.44 \text{ ATA} - 1 \text{ ATA}) \times 10 \text{ msw}$$

$$D = 34.4 \text{ msw}$$

Если полученный результат выражен десятичной дробью, его принято округлять до целого числа в меньшую сторону для безопасности. Следовательно, максимальная глубина погружения с использованием EANx36 – 34 msw.

Кислородный лимит глубины в техническом дайвинге принято называть максимальной глубиной действия (MOD)¹¹.

Парциальное давление кислорода (PO_2) вычисляется для того, чтобы определить кислородный лимит времени погружения при использовании смесей NITROX. Для этого необходимо также знать максимальную глубину погружения и процент содержания кислорода в смеси.

А сейчас мы решим несколько практических задач и на их примерах продолжим "погружение" в теорию.

Задача №1: Каково парциальное давление кислорода (PO_2) на глубине 30 метров при использовании смеси EANx32? Каков кислородный лимит этого погружения?

а) Определяем абсолютное давление, соответствующее этой глубине погружения:

$$(30 \text{ msw} : 10 \text{ msw}) + 1 \text{ ATA} = 4 \text{ ATA}$$

б) вычисляем парциальное давление кислорода (PO_2) по формуле:

$$\text{FO}_2 \times P = \text{PO}_2$$

$$0.32 \times 4 \text{ ATA} = 1.28 \text{ ATA}$$

Получаем, что парциальное давление кислорода (PO_2) при использовании EANx32 на глубине 30м равно 1.28 ATA.

Теперь обратимся к одной из таблиц NOAA, чтобы определить кислородный лимит времени погружения для этого парциального давления.

Эти таблицы были разработаны в результате исследований, проведенных Военно-Морскими Силами США и NOAA¹².

NOAA: Таблица соответствий кислородных лимитов времени погружений парциальному давлению O_2

PO_2 ATA	РАЗОВЫЙ ЛИМИТ		СУТОЧНЫЙ ЛИМИТ	
	минуты	часы	минуты	часы
1.6	45	0.45	150	2.30
1.5	120	2.00	180	3.00
1.4	150	2.30	180	3.00
1.3	180	3.00	210	3.30
1.2	210	3.30	210	4.00
1.1	240	4.00	270	4.30
1.0	300	5.00	300	5.00
0.9	360	6.00	360	6.00
0.8	450	7.30	450	7.30
0.7	570	9.30	570	9.30
0.6	720	12.00	720	12.00

Чтобы определить КИСЛОРОДНЫЙ ЛИМИТ ВРЕМЕНИ ПОГРУЖЕНИЯ, в левой колонке находим строку с точным (или ближайшим большим) значением парциального давления кислорода (PO_2). Если двигаться по строке вправо, в следующих колонках последовательно обозначены: разовый кислородный лимит (для одного погружения) и суточный кислородный лимит погружений, соответствующие данному парциальному давлению кислорода.

Задача №1 (продолжение):

в) В левой колонке таблицы значений PO_2 нет строки, соответствующей значению 1.28 ATA, поэтому мы берем следующее по величине значение 1.3 ATA. В этой же строке в следующих колонках справа мы видим, что разовый кислородный лимит погружения для этого парциального давления кислорода равен 180 минутам или 3 часам.

Ответ: Парциальное давление кислорода (PO_2) на глубине 30 метров при использовании смеси EANx32 равно 1.28 ATA. Разовый кислородный лимит времени этого погружения равен 180 минутам (3 часам).

Но не забывайте, что время погружения времени (NDL)¹³.

ограничивается также азотным лимитом

Суточные кислородные лимиты времени учитываются при многократных погружениях и определяются по наибольшему значению парциального давления кислорода (PO_2), рассчитанному для всех этих погружений.

Кислородные таблицы NOAA приводят разовые и суточные лимиты времени пребывания под водой для PO_2 от 0.6 ATA до 1.6 ATA, так как парциальное давление кислорода меньше 0.6 ATA можно не учитывать, а превышающее 1.6 ATA считается опасным.

Давайте запомним, что **максимальное значение парциального давления кислорода при погружениях никогда не должно превышать 1.6 ATA**.

При увеличении содержания в крови углекислого газа усвоемость кислорода организмом резко снижается. Это происходит обычно во время или сразу после повышенной физической нагрузки, при переохлаждении, а также при нарушении дыхания, связанном в основном с плохой работой регулятора. Поэтому, если вы планируете погружение в холодную воду¹⁴ или оно связано с повышенной физической нагрузкой (наличие сильного течения или выполнение каких-либо подводных работ), NOAA настоятельно рекомендует применять для расчетов максимально допустимое значение парциального давления кислорода равное 1.4 ATA.

В случае если вы исчерпали разовый кислородный лимит погружения, NOAA рекомендует сделать интервал между погружениями на поверхности минимум 2 часа. Если же исчерпан суточный кислородный лимит погружений, необходим интервал минимум 12 часов.

Наступление и интенсивность проявлений кислородной интоксикации зависят от величины парциального давления вдыхаемого кислорода (т. е. от глубины погружения) и времени его воздействия. Превышение допустимой глубины или времени погружения может привести к кислородной интоксикации прямо под водой и иметь летальный исход. Подробно симптоматика и последствия кислородной интоксикации будут описаны в главе 5.

Задача №2: Какова максимальная глубина погружения при использовании смеси EANx36 в благоприятных условиях? (Используйте PO_2 равное 1.6 ATA, так как погружение не будет проходить в холодной воде и не требует повышенной физической нагрузки).

а)

$$\begin{aligned}\text{PO}_2 : \text{FO}_2 &= P \\ 1.6 \text{ ATA} : 0.36 &= 4.44 \text{ ATA}\end{aligned}$$

б) Определяем D msw по P_{ATA} :

$$(4.44 \text{ ATA} - 1 \text{ ATA}) \times 10 \text{ msw} = 34.4 \text{ msw}$$

Ответ: Максимальная глубина погружения при использовании смеси EANx36 в благоприятных условиях равна 34 msw. (Помните, что глубину для безопасности нужно округлять в меньшую сторону?)

Задача №3: Какую смесь лучше использовать при погружении на 30 msw в условиях повышенной физической нагрузки? (Какая смесь может обеспечить максимальное время погружения?)

а) Определяем абсолютное давление (в ATA) на данной глубине:

$$(30 \text{ msw} : 10 \text{ msw}) + 1 \text{ ATA} = 4 \text{ ATA}$$

б) Определяем фракцию кислорода:

$$\begin{aligned}\text{PO}_2 : P &= \text{FO}_2 \\ 1.4 \text{ ATA} : 4 \text{ ATA} &= 0.35\end{aligned}$$

Ответ: При погружении на 30 msw в условиях повышенной физической нагрузки максимальное время погружения обеспечит смесь EANx35.

Задача №4: Какова максимальная глубина погружения при использовании смеси EANx32 в холодной воде? Каков кислородный лимит времени для этого погружения?

(Используйте PO_2 равное 1.4 ATA, так как погружение будет проходить в холодной воде).

а)

$$1.4 \text{ ATA} : 0.32 = 4.38 \text{ ATA}$$

б)

$$(4.38 \text{ ATA} - 1 \text{ ATA}) \times 10 \text{ msw} = 33.8 \text{ msw}$$

Ответ: Максимальная глубина погружения при использовании смеси EANx32 в холодной воде равна 33 msw. Согласно таблице NOAA, разовый кислородный лимит времени для этого погружения равен 150 минутам.

Очевидно, что значение азотного лимита времени будет гораздо меньше.

Итоги главы

1. Смеси NITROX с более высоким, чем в воздухе, содержанием кислорода называются обогащенными кислородом воздушными смесями и обозначаются сокращенно EANx (Enriched Air Nitrox), где после буквы "екс" на конце сокращения указывается процент содержания в них кислорода, или фракция кислорода FO_2 .

2. Две наиболее распространенные смеси NITROX – EANx32 и EANx36. Максимальная глубина погружений с использованием EANx32 – 40 msw (130 fsw), а EANx36 – 34 msw (110 fsw).

3. В абсолютных атмосферах измеряется абсолютное давление (P). Единицы измерения "ATA" используются для всех расчетов, относящихся к газам.

P – абсолютное давление

P_{ATA} – абсолютное давление в ATA

D msw – глубина в метрах соленой воды

4. вычисление глубины по абсолютному давлению:

$$P_{ATA} = (D \text{ msw} : 10 \text{ msw}) + 1 \text{ ATA}$$

или

$$(D \text{ msw} + 10 \text{ msw}) : 10 \text{ msw}$$

5. вычисление абсолютного давления по глубине:

$$D \text{ msw} = (P_{ATA} - 1 \text{ ATA}) \times 10 \text{ msw}$$

или

$$(P_{ATA} \times 10 \text{ msw}) - 10 \text{ msw}$$

6. Для нахождения PO_2 , зная FO_2 , необходимо сначала вычислить абсолютное давление на заданной глубине.

PO_2 – парциальное давление кислорода

FO_2 – фракция кислорода

PN_2 – парциальное давление азота

FN_2 – фракция азота

7. Формула закона Дальтона для воздуха и смесей NITROX:

$$P = PO_2 + PN_2$$

8. Кристалл Дальтона используется для составления уравнений: закройте ладонью искомый компонент, и получите соответствующее уравнение. При помощи Кристалла Дальтона можно ответить на следующие вопросы:

Оптимальная смесь?

$$FO_2 = PO_2 : P$$

Максимальная глубина?

$$P = PO_2 : FO_2$$

Содержание кислорода?

$$PO_2 = FO_2 \times P$$

9. Максимальное значение парциального давления кислорода при погружениях никогда не должно превышать 1.6 ATA.

10. Использование при вычислениях максимального парциального давления кислорода равного 1.4 ATA рекомендуется для погружений в холодной воде или в условиях, требующих повышенной физической нагрузки.

11. Кислородные лимиты времени определяются по таблицам NOAA.

В случае если вы исчерпали разовый кислородный лимит погружения, NOAA рекомендует сделать интервал между погружениями на поверхности минимум 2 часа. Если же исчерпан суточный кислородный лимит погружений, необходим интервал минимум 12 часов.

Вопросы для самоконтроля (Глава 3)

1. Атмосферное давление равно 1 бару, 1 ATA и давлению водяного столба высотой 10 msw.
- Да/Нет
2. Абсолютное давление на глубине 10 msw (33 fsw) создано давлением (весом)
- воздуха над уровнем моря
 - воздуха и воды
 - воздуха над уровнем моря и воды
 - воды
3. По европейским стандартам манометры показывают давление газов в
- ATA
 - psfg
 - барах
 - fswg
4. Закон Бойля-Мариотта можно перефразировать как: "Давление газовой смеси равно сумме давлений ее составляющих".
- Да/Нет
5. Какие единицы чаще всего используются при математических вычислениях абсолютного давления газов?
- атмосферы
 - msw
 - бары
 - ATA
6. Что обозначает P_{O_2} ?
- парциальное давление O_2
 - парциальное давление N_2
 - фракцию O_2
 - ничего из вышеперечисленного
7. Что обозначает P_{O_2} ?
- десятичное выражение % O_2
 - эквивалент фракции % O_2
 - а + б
 - силу давления кислорода
8. Что обозначает P?
- NITROX
 - давление в фунтах на фут
 - ATA
 - абсолютное давление
9. По каким таблицам можно определить кислородный лимит времени для одного погружения (разовый) и суточный?
- PADE
 - NAWE
 - Таблица дядюшки NOAA
 - NOAA
10. Какое максимальное давление кислорода и кислородный лимит времени рекомендованы NOAA для обычных погружений с использованием EANx?
- 1.5 ATA и 150 минут
 - 5 минут на 66м
 - 1.6 ATA и 45 минут
 - NDL
11. Используя кислородную таблицу, скажите, каково максимальное значение P_{O_2} , дающее возможность пребывания под водой в течение одного часа?
- 1.6 ATA
 - 1.5 ATA
 - 1.4 ATA
 - 1 ATA

12. Какое значение PO_2 рекомендуется использовать для расчетов при погружениях в холодной воде или при повышенной физической нагрузке?
 а) 1.6 ATA
 б) 1.5 ATA
 в) 1.4 ATA
 г) 1 ATA

13. Перечислите три уравнения, вытекающие из закона Дальтона, и под каждым из них напишите в двух словах, на какие вопросы с их помощью можно ответить.

Глава 4. ПРИВЕДЕННАЯ ГЛУБИНА

Понятие ПРИВЕДЕННАЯ ГЛУБИНА – EAD¹⁵ – показывает соответствие глубин по количеству растворившегося в организме азота за одинаковое время при использовании смеси NITROX и при дыхании воздухом.

Для упрощения рассмотрим пример. При погружении со смесью EANx32 на глубину 19 msw в организме накапливается столько же азота, сколько и при погружении на 15 msw за аналогичное время при использовании воздуха. Это соответствие глубин и отражает понятие ПРИВЕДЕННАЯ ГЛУБИНА (EAD).

ПРИВЕДЕННАЯ ГЛУБИНА (EAD) требуется в двух случаях:

1. При отсутствии таблиц азотного бездекомпрессионного лимита времени погружений – NDL¹⁶ – для стандартных смесей NITROX.

2. При использовании нестандартных смесей NITROX (EANx25, EANx33...)

В том и другом случае, вычислив ПРИВЕДЕННУЮ ГЛУБИНУ (EAD), возможно применить "обычные" таблицы для определения азотного бездекомпрессионного лимита времени погружений (NDL).

В основу создания формулы для вычисления EAD легло количество проникающего в организм азота¹⁷. Формула EAD позволяет перевести максимальную глубину планируемого погружения в ПРИВЕДЕННУЮ ГЛУБИНУ, которая дает возможность определять азотный лимит времени по стандартным "воздушным" таблицам погружений. Формула EAD была изначально разработана на основе таблиц погружений Военно-Морских Сил США. На этом же принципе в дальнейшем были разработаны приложения и для других таблиц. В этом пособии мы будем использовать таблицы Булмана.

Для вычисления ПРИВЕДЕННОЙ ГЛУБИНЫ необходимо знать максимальную глубину погружения и предварительно определить FO_2 смеси с максимальной глубиной ее использования.

$$\text{EAD} = \left[\frac{(1 - \text{FO}_2) \times (\text{D} + 10 \text{ msw})}{0.79} \right] - 10 \text{ msw}$$

$1 - \text{FO}_2$ – фракция вдыхаемого азота

D – действительная максимальная глубина в msw

0.79 – FN_2 воздуха

+ 10 msw – помогает определить абсолютное давление на определенной глубине

– 10 msw – переводит EAD в атмосферах в EAD в msw

Вы можете так же запомнить упрощенную формулу EAD:

$$\text{EAD} = [(\text{FN}_2 : 0.79) \times (\text{mswa})] - 10 \text{ msw}$$

$\text{FN}_2 : 0.79$ – отношение % азота в смеси к % азота в воздухе

mswa – абсолютная глубина в метрах соленой воды, $\text{D} + 10\text{msw}$

Чтобы вычислить ПРИВЕДЕННУЮ ГЛУБИНУ (EAD), необходимо сначала умножить отношение процентного содержания азота в смеси NITROX к процентному содержанию азота в воздухе на величину абсолютного давления. Затем из полученного результата вычесть значение атмосферного давления. Полученное значение приведенной глубины выражено в метрах соленой воды, и с его помощью можно определить бездекомпрессионный азотный лимит времени для данного погружения по обычной "воздушной" таблице.

Давайте разберем пример вычисления ПРИВЕДЕННОЙ ГЛУБИНЫ (EAD). Как определить EAD для погружения на глубину 20м с использованием смеси EANx32?

$$\begin{aligned}
 EAD &= [(FN_2 : 0.79) \times (mswa)] - 10 \text{ msw} \\
 &= [(0.68 : 0.79) \times (20 \text{ msw} + 10 \text{ msw})] - 10 \text{ msw} \\
 &= [0.86 \times 30 \text{ msw}] - 10 \text{ msw} \\
 &= 25.8 \text{ msw} - 10 \text{ msw} \\
 EAD &= 15.8 \text{ msw}
 \end{aligned}$$

Теперь осталось определить бездекомпрессионный азотный лимит времени (NDL) для этого погружения.

Как мы только что выяснили, при погружении на глубину 20м и использовании смеси EANx32 бездекомпрессионный азотный лимит времени (NDL) будет равен величине, соответствующей погружению на глубину 16м с использованием воздуха. Применяя таблицу "для воздуха", мы, соответственно, используем не истинную, а ПРИВЕДЕННУЮ ГЛУБИНУ этого погружения. По таблице №1 Булмана для смеси EANx21 (воздух) определяем, что для погружений на 16 msw NDL будет равен 51 минуте. (См. таблицы в конце).

Если, в связи с недостаточным объемом баллона, у вас нет возможности исчерпать все допустимое время за одно погружение, вы можете использовать оставшееся после погружения время для следующего погружения, сократив до минимума интервал на поверхности между ними. То есть, поменяв баллон, начать следующее погружение сразу после предыдущего.

На все том же примере давайте рассмотрим этот вариант. Во время первого погружения с максимальной глубиной 20м при использовании EANx32 смеси в баллоне хватило на 30 минут. Поднявшись на поверхность и поменяв пустой баллон на полный с такой же смесью, вы сразу же делаете второе погружение с той же максимальной глубиной на 21 минуту. Теоретически за два погружения вы наберете столько же азота, сколько за время одного погружения на 51 минуту, что не превышает бездекомпрессионный азотный лимит времени.

Учтите, что сокращая максимальное время погружений и делая более продолжительные интервалы на поверхности, вы обеспечиваете себе большую безопасность от декомпрессионной болезни и увеличиваете возможности последующих погружений! NOAA выпустила таблицы для стандартных смесей EANx28, EANx32, EANx36 и EANx40. Пользуясь этими таблицами для расчета погружений, учтите, что в них существует погрешность +1% от указанных величин. Применяя расчеты по приведенным выше формулам, вы получаете более точные результаты.

Если вы погружаетесь на нестандартных смесях или у вас нет таблиц погружений NOAA, вы можете считать EAD и пользоваться обычными "воздушными" таблицами погружений. Многие так и делают, чтобы не возиться с собой несколько таблиц для разных смесей. Однако обратите особое внимание на то, что при использовании для расчетов EAD, вы обязаны пользоваться одной и той же основной таблицей. Нельзя, к примеру, для первого погружения использовать таблицу PADI, а для повторного – таблицу Ханна, так как в них не совпадают не только значения, но и буквенные обозначения категорий остаточного азота.

Хорошая новость!

Таблица ПРИВЕДЕННЫХ ГЛУБИН (EAD) позволит вам определить EAD без сложных вычислений! Эта таблица включает все смеси NITROX, содержащие от 25% до 40% кислорода.

Чтобы определить ПРИВЕДЕННУЮ ГЛУБИНУ для определенной смеси, в вертикальной колонке найдите величину процентного содержания кислорода в этой смеси. Затем в левой колонке найдите строку с интересующей вас глубиной. В месте их пересечения вы найдете EAD, округленную до целых значений (метров).

NOAA. Таблица приведенных глубин.

Глубина	ПРОЦЕНТ СОДЕРЖАНИЯ КИСЛОРОДА В СМЕСИ															
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
12	11	11	10	10	10	9	9	9	9	8	8	8	8	7	7	7
13	12	12	11	11	11	10	10	10	10	9	9	9	8	8	8	7
14	13	12	12	12	12	11	11	11	10	10	10	9	9	9	9	8
15	14	13	13	13	12	12	12	12	11	11	11	10	10	10	9	9
16	15	14	14	14	13	13	13	12	12	12	11	11	11	10	10	10
17	16	15	15	15	14	14	14	13	13	13	12	12	12	11	11	11

18	17	16	16	16	15	15	14	14	14	13	13	13	12	12	12	11
19	18	17	17	16	16	16	15	15	15	14	14	13	13	13	12	12
20	18	18	18	17	17	17	16	16	15	15	15	14	14	14	13	13

(более подробная таблица)

Таблица. Эквивалентные воздушные глубины.

Глубина м	Процентное содержание кислорода в смеси																			
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
12	12	12	11	11	11	10	10	10	9	9	9	9	8	8	8	8	7	7	7	
13	13	13	12	12	12	11	11	11	10	10	10	10	9	9	9	8	8	8	8	
14	14	14	13	13	13	12	12	12	12	11	11	11	10	10	10	9	9	9	9	
15	15	15	14	14	14	13	13	13	12	12	12	12	11	11	11	10	10	10	9	9
16	16	16	15	15	14	14	14	13	13	13	12	12	12	11	11	11	10	10	10	
17	17	17	16	16	15	15	15	14	14	14	13	13	13	12	12	12	11	11	11	
18	18	18	17	17	17	16	16	16	15	15	14	14	14	13	13	13	12	12	11	
19	19	19	18	18	18	17	17	16	16	16	15	15	15	14	14	13	13	12	12	
20	20	20	19	18	18	18	18	17	17	16	16	15	15	15	14	14	14	13	13	
21	21	21	20	19	19	19	19	18	18	17	17	17	16	16	16	15	14	14	14	
22	22	22	21	20	20	20	20	19	19	18	18	18	17	17	16	16	15	15	14	
23	23	23	22	22	21	21	20	20	20	19	19	18	18	18	17	17	16	16	15	
24	24	24	23	23	22	22	21	21	21	20	20	19	19	18	18	18	17	17	16	
25	25	25	24	24	23	23	22	22	21	21	21	20	20	19	19	18	18	17	17	
26	26	26	25	25	24	24	23	23	22	22	21	21	21	20	20	19	19	18	17	
27	27	27	26	26	25	25	24	24	23	23	22	22	21	21	20	20	19	19	18	
28	28	28	27	27	26	26	25	25	24	24	23	23	22	22	21	21	20	19	19	
29	29	29	28	28	27	27	26	26	25	25	24	24	23	23	22	22	21	21	20	
30	30	29	28	29	28	27	27	26	26	25	25	24	24	23	23	22	22	21	21	
31	31	30	29	30	29	28	28	27	27	26	26	25	25	24	24	23	22	22	22	
32	32	31	30	31	30	29	29	28	28	27	27	26	26	25	25	24	23	23		
33	33	32	31	32	31	30	30	29	29	28	28	27	26	26	25	25	24			
34	34	33	32	33	32	31	31	30	30	29	28	28	27	27	26	26	25			
35	35	34	33	34	33	32	32	31	30	30	29	29	28	28	27	26				
36	36	35	34	35	34	33	33	32	31	31	30	30	29	28	28					
37	37	36	35	36	35	34	33	33	32	32	31	30	30	29						
38	38	37	36	37	36	35	34	34	33	33	32	31	31							
39	39	38	37	37	37	36	35	35	34	33	33	32	32							
40	40	39	38	38	37	37	36	36	35	34	34	33								
41	41	40	39	39	38	38	37	36	36	35	35									
42	42	41	40	40	39	39	38	37	37	36	35									
43	43	42	41	41	40	40	39	38	38	38	37									
44	44	43	42	42	41	41	40	39	39	38										
45	45	44	43	43	42	42	41	40	39											
46	46	45	44	44	43	42	42	40												
47	46	46	44	44	43	43	42													
48	47	47	45	45	44	44														
49	48	48	46	46	45	45														
50	49	48	47	47	46	45														

Таблица эквивалентных глубин поможет рассчитать время декомпрессии, если Вы погружаетесь на обогащенной кислородом смеси /Nitrox/ и применяете для расчетов обычные "воздушные" таблицы.

ПРИМЕР. Вы используете смесь с содержанием 36% кислорода при погружении на глубину 30 метров. Как рассчитать время декомпрессионной остановки? По таблице определяем, что погружение на данной смеси на это глубину эквивалентно погружению на глубину 22 метра на воздухе. Дальнейший расчет по "воздушной" таблице.

В верхнем ряду найдите процент содержания кислорода в смеси, в левой колонке найдите строку с планируемой глубиной погружения. В месте их пересечения вы найдете EAD. Еще одна хорошая новость!

Используя эту таблицу, вам не придется высчитывать РО₂ по формуле! Но помните, что собственные вычисления дают более точный результат!

NOAA. Таблица парциального давления кислорода

Кликните [здесь](#) – таблица откроется в новое окно.

Таблица. Парциальное давление кислорода /РРО₂/.

Глубина м	Процентное содержание кислорода в смеси, %																			
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
12	0.46	0.48	0.51	0.53	0.55	0.57	0.59	0.62	0.64	0.66	0.68	0.7	0.73	0.75	0.77	0.79	0.81	0.84	0.86	0.88
15	0.53	0.55	0.58	0.6	0.63	0.65	0.68	0.7	0.73	0.75	0.77	0.8	0.82	0.85	0.87	0.9	0.92	0.95	0.97	1
18	0.59	0.62	0.64	0.67	0.7	0.73	0.76	0.78	0.81	0.84	0.87	0.9	0.92	0.95	0.98	1.01	1.04	1.06	1.09	1.12
21	0.65	0.68	0.71	0.74	0.78	0.81	0.84	0.87	0.9	0.93	0.96	0.99	1.02	1.05	1.08	1.12	1.15	1.18	1.21	1.24
24	0.71	0.75	0.78	0.82	0.85	0.88	0.92	0.95	0.99	1.02	1.05	1.09	1.12	1.16	1.19	1.22	1.26	1.29	1.33	1.36
27	0.78	0.81	0.85	0.89	0.93	0.96	1	1.04	1.07	1.11	1.15	1.18	1.22	1.26	1.29	1.33	1.37	1.41	1.44	1.48
30	0.84	0.88	0.92	0.96	1	1.04	1.08	1.12	1.16	1.2	1.24	1.28	1.32	1.36	1.4	1.44	1.48	1.52	1.56	1.6
33	0.9	0.95	0.99	1.03	1.08	1.12	1.16	1.2	1.25	1.29	1.33	1.38	1.42	1.46	1.5	1.55	1.59			
36	0.97	1.01	1.06	1.1	1.15	1.2	1.24	1.29	1.33	1.38	1.43	1.47	1.52	1.56	1.61					
39	1.03	1.08	1.13	1.18	1.23	1.27	1.32	1.37	1.42	1.47	1.52	1.57	1.62							
42	1.09	1.14	1.2	1.25	1.3	1.35	1.4	1.46	1.51	1.56	1.61									
45	1.16	1.21	1.27	1.32	1.38	1.43	1.49	1.54	1.6											
48	1.22	1.28	1.33	1.39	1.45	1.51	1.57													
51	1.28	1.34	1.4	1.46	1.53	1.59														
54	1.34	1.41	1.47	1.54	1.61															
57	1.41	1.47	1.54	1.61																
60	1.47	1.54	1.61																	
63	1.53	1.61																		
66	1.6																			
Максимально допустимая глубина 28% – 46 м 32% – 40 м																				
Глубина	50	60	70	80	90	100														
1	0.55	0.66	0.77	0.88	0.99	1.1														
2	0.6	0.72	0.84	0.96	1.08	1.2														
3	0.65	0.78	0.91	1.04	1.17	1.3														
4	0.7	0.84	0.98	1.12	1.26	1.4														
5	0.75	0.9	1.05	1.2	1.35	1.5														
6	0.8	0.96	1.12	1.28	1.44	1.6														
7	0.85	1.02	1.19	1.36	1.53															
8	0.9	1.08	1.26	1.44	1.62															
9	0.95	1.14	1.4	1.52																
10	1	1.2	1.47	1.6																
11	1.05	1.26	1.54																	
12	1.1	1.32	1.61																	
13	1.15	1.38																		
14	1.2	1.44																		
15	1.25	1.5																		
16	1.3	1.56																		
17	1.35	1.62																		
18	1.4																			
19	1.45																			
20	1.5																			

Пользоваться данной таблицей предельно просто. Искомое значение РРО₂ находится на пересечении процентного содержания кислорода в смеси /горизонталь в верхней части таблицы/ и глубины /вертикаль в левой части таблицы/.

Те же самые значения РРО₂ могут быть получены из формулы:

$$P_{\text{Раза}} = F_{\text{газа}} \times P$$

где

F_{газа} – концентрация

P – абсолютное давление в барах.

Таблица облегчает вычисления, особенно если под руками нет калькулятора.

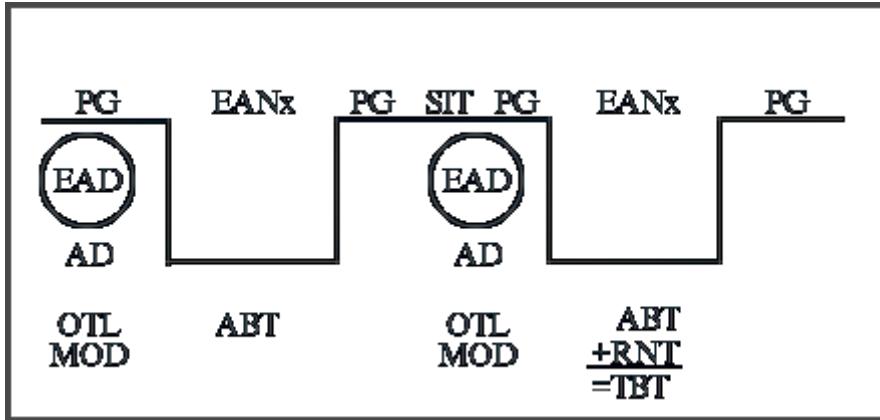
Таблица максимальных глубин для популярных смесей 28% и 32% составлена на основании предельно допустимого парциального давления кислорода – 1.6 бар.

В верхнем ряду найдите колонку с нужным процентом содержания кислорода в смеси. В левой колонке – строку с планируемой глубиной в метрах. Если значение планируемой глубины отсутствует, следует взять ближайшее большее ее значение. В месте их пересечения вы найдете парциальное давление кислорода в данной смеси на выбранной глубине.

Если вы планируете находиться в холодной воде, не исключаете возможность затрудненного дыхания и повышенной физической нагрузки, не рекомендуется превышать глубину, где парциальное давление кислорода больше, чем 1.4 ATA.

Схема 1 – это графический профиль – шаблон, который поможет избежать путаницы в записи данных во время расчетов погружений на смесях NITROX.

Схема 1:



Обозначения в схеме 1:

EAD – приведенная глубина погружения

AD – действительная глубина погружения

ABT – время погружения в минутах

PG – категория остаточного азота после первого погружения

SIT – интервал на поверхности в часах и минутах

RNT – остаточное азотное время в минутах

TBT – полное расчетное время погружения с учетом остаточного азотного времени (ABT + RNT) в минутах

OTL – разовый кислородный лимит времени в часах и минутах

MOD – кислородный лимит глубины

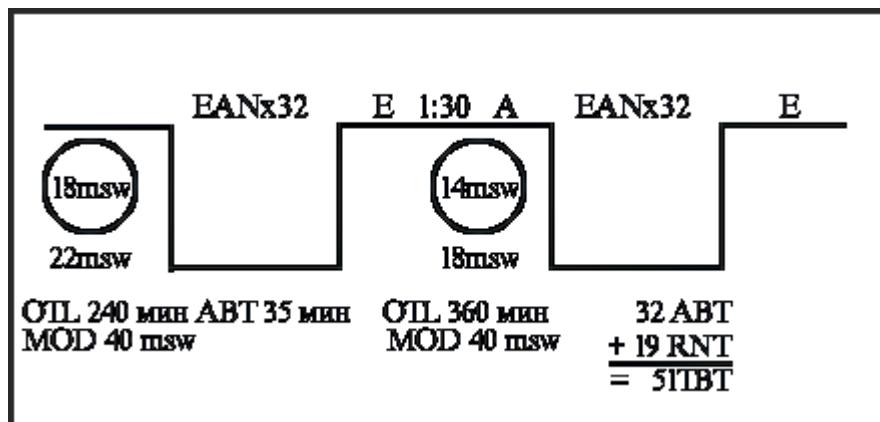
Если вы намерены использовать смеси NITROX, чтобы продлить время пребывания под водой и сократить интервалы на поверхности между погружениями, лимит бездекомпрессионного азотного времени (NDL) будет зависеть от EAD.

Если вы погружаетесь с использованием воздуха, NDL должен соответствовать действительной глубине погружения.

Значение EAD записывайте в кружке над действительной глубиной. Таким образом, вы легко сможете разобраться, когда использовать EAD для подсчета азотного лимита времени, а когда действительную глубину погружения. Для каждого погружения записывайте MOD и OTL под действительной глубиной погружения.

Схема 2 – графический профиль с учетом EAD на два погружения с использованием смеси EANx32. Первое погружение на глубину 22 msw продолжительностью 35 минут, второе – на глубину 18 msw и продолжительностью 32 минуты. Интервал на поверхности 1:30 минут. Для расчетов использовались таблицы Булмана.

Схема 2.



Принципиально эти схемы построены так же, как и схема для погружений с использованием воздуха. Разница лишь в том, что в них присутствует информация о смеси, EAD, MOD и OTL.

Вопросы для самоконтроля (Глава 4)

1. Концепция ПРИВЕДЕНОЙ ГЛУБИНЫ означает, что парциальное давление азота для данной глубины при использовании смеси NITROX может быть равно парциальному давлению азота для меньшей глубины при использовании воздуха.

Да/Нет

2. Какова приведенная глубина при использовании смеси EANx36?
- 22м
 - 24м
 - 18м
 - 30м

погружении на глубину 30 метров и

3. При использовании таблиц EAD и таблиц для расчета погружений с использованием воздуха действуют одинаковые правила округления значений в случае, если точные показатели глубины и времени не указаны.

Да/Нет

4. Смесь EANx32 опасно использовать на глубине менее 40м/130 футов.

Да/Нет

5. Какие существуют ограничения при погружении с использованием обогащенного кислородом воздуха, кроме азотного лимита времени?

- кислородный лимит времени, PN₂
- время N₂
- P_{ATA}
- кислородный лимит глубины

6. Чтобы определить ПРИВЕДЕННУЮ ГЛУБИНУ по таблицам EAD, нужно найти процентное содержание кислорода смеси в верхнем ряду и опуститься в этой колонке до необходимой максимальной глубины, а затем в найденном ряду слева найти значение EAD.

Да/Нет

7. По формуле EAD определите EAD для погружения на глубину 33м с использованием смеси EANx32.

Глава 5. КИСЛОРОД (назад)

Для приготовления смесей, как правило, используется авиационный или медицинский кислород USP. Оба они самого высокого качества и единственным их различием является то, что в авиационном кислороде содержится меньше паров воды, чтобы он не замерзал на большой высоте.

Требования к оборудованию

При использовании смесей с повышенным количеством кислорода необходимо знать и выполнять требования техники безопасности.

Кислород не совместим с маслами, а также с бензином и другими нефтепродуктами. Он легко воспламеняется под давлением в присутствии углеводорода, паров силикона и других примесей.

Все оборудование, связанное с применением смесей, содержащих более 40% кислорода, требует так называемой кислородной очистки и должно иметь специальную смазку и уплотнения.

Баллоны, вентили, манометры и регуляторы, используемые для смесей NITROX с содержанием кислорода 40% и выше, должны быть изготовлены из совместимых с кислородом материалов и регулярно проходить кислородную очистку. Оборудование, прошедшее кислородную очистку, маркируется надписью "ТОЛЬКО ДЛЯ КИСЛОРОДА" и не может применяться при использовании воздуха. Проверка и очистка оборудования осуществляются только сертифицированным специалистом.

Баллоны и вентили для использования смесей NITROX, содержащих менее 40% кислорода, требуют кислородной очистки только в том случае, если смесь приготавливается в них методом добывки кислорода воздухом высокого давления.

Приготовление смесей NITROX разрешено только лицам, окончившим специальные курсы по смешиванию газов, имеющим допуск для работы с кислородом и соответствующие сертификаты.

Обогащенные кислородом смеси NITROX, содержащие менее 40% кислорода, не требуют применения специального оборудования. То есть вы можете пользоваться своим обычным снаряжением. Исключением является лишь дайвинг-компьютер. При использовании смесей необходимо применение специальных дайвинг-компьютеров с устанавливаемым

изменяемым значением %O₂ для

вы должны иметь два компьютера. Установив на найтрокс-компьютере значение содержания кислорода равное 21 (воздух), вы можете использовать его при погружениях "на воздухе".

Маркировка баллонов

Баллоны со смесями должны отличаться от баллонов с воздухом во избежание путаницы, так как при случайном использовании баллона с воздухом вместо смеси НАЙТРОКС увеличение продолжительности пребывания под водой повлечет за собой декомпрессионную болезнь. Если же по ошибке использовать смесь NITROX вместо воздуха и превысить кислородный лимит глубины для данной смеси, то может произойти кислородная интоксикация центральной нервной системы (ЦНС).



Существует общепринятый международный стандарт маркировки баллонов, предназначенных для смесей, в которых содержание кислорода превышает 21%. Это либо широкая зеленая полоса, опоязывающая верхнюю часть баллона, с желтой надписью NITROX, ENRICHED AIR NITROX или SAFE AIR NITROX®¹⁸, либо одна из этих надписей, сделанная крупными зелеными буквами вертикально по всей длине желтого баллона. Чаще всего, чтобы не красить баллоны, используются стандартные наклейки. Кроме специальной маркировки к баллону со смесью должна быть прикреплена пластиковая бирка, на которой несмыываемым маркером отмечается процент содержания кислорода в смеси, MOD, давление в баллоне, дата проверки, фамилия или имя подводного пловца, проверившего эти данные. Хорошо, если на каждой бирке также будет указан серийный номер соответствующего ей баллона. Это значительно упростит ситуацию, когда одновременно срываются несколько бирок.

Процедура проверки смесей

Выбрав по биркам в дайвинг-центре баллоны с нужными вам смесями, приступите к процедуре проверки. **Обязательно лично проверьте каждый баллон!** С помощью кислородного анализатора убедитесь в соответствии смеси в баллоне и записи на бирке. Рассчитайте MOD для данной смеси и отметьте маркером на этой же бирке ее значение. Проверьте с помощью манометра давление в баллоне. После окончания проверки отметьте баллон, записав свое имя или фамилию на бирке, и распишитесь в журнале дайвинг-центра за взятую вами смесь.

Не пренебрегайте личной проверкой смесей. Всегда есть вероятность ошибки!

Кислородные анализаторы

применяемых смесей. Но это не значит, что

использование смесей

воздухом вместо смеси НАЙТРОКС

увеличение продолжительности пребывания под водой повлечет за собой

декомпрессионную болезнь.

Если же по ошибке использовать смесь NITROX вместо

воздуха и превысить кислородный лимит глубины для данной смеси, то может произойти

кислородная интоксикация центральной нервной системы (ЦНС).



Несмотря на большое количество производимых моделей кислородных анализаторов, принцип работы с ними одинаков. Каждый анализатор имеет жидкокристаллический дисплей, колесико градуировки прибора и трубку с чувствительным элементом (датчиком). После включения прибора на дисплее высвечивается произвольное значение количества кислорода. Анализатор может показывать 100% кислорода, если он новый или у него садится батарея. С помощью колесика градуировки необходимо привести произвольное значение, показываемое прибором, к значению содержания кислорода в атмосферном воздухе. На дисплее должно появиться число 21.0. Анализатор готов к работе.

Прижав к отверстию вентиля трубку с чувствительным элементом кислородного анализатора, плавно приоткройте вентиль баллона. Смесь не должна проходить через датчик под большим давлением, для анализа достаточно "тихого шипения". Дождитесь, когда показания на дисплее прибора перестанут изменяться и остановятся на одном значении. Это и будет процентом содержания кислорода в вашей смеси. Для получения точных данных, как правило, достаточно небольшого напора смеси на протяжении 30 секунд.

Датчик должен быть плотно прижат к отверстию вентиля баллона (если в приборе не предусмотрен воздухозаборный мешок или переходник), чтобы струя воздуха не захватывала воздух извне, иначе данные будут занижены.

Не закрывайте рукой выходное отверстие трубы анализатора, так как скопление газа в трубке даст завышенные показания содержания кислорода.

Большинство кислородных анализаторов обладают очень высокой чувствительностью, поэтому во избежание поломок не открывайте резко вентиль баллона.

Воздействие кислорода на человека

Кислород в больших концентрациях даже в условиях атмосферного давления действует на организм как яд хроноконцентрационного действия. Так, при парциальном давлении кислорода в 1 АТА (дыхание чистым кислородом в атмосферных условиях) уже после 72-часового дыхания в легких развиваются воспалительные явления. При более высоких парциальных давлениях кислорода воспалительные явления в легких не успевают развиться, так как через несколько минут возникают судороги, остановка дыхания и потеря сознания. Это происходит в связи с кислородной интоксикацией центральной нервной системы (ЦНС).

В медицинской практике кислород измеряется и лимитируется дозами. В техническом дайвинге принято вместо доз применять ограничения исходя из максимально допустимого РО₂ и кислородного лимита времени. Индивидуальная переносимость повышенного содержания кислорода человеком очень различна и может меняться день ото дня.

Исследования показали, что кислородная интоксикация ЦНС может наступить при дыхании смесью с парциальным давлением кислорода более 1,6 АТА или при превышении кислородного лимита времени для данного РО₂¹⁹.

Проявление кислородной интоксикации ЦНС под водой, скорее всего, приведет к утоплению пострадавшего, из-за начавшихся судорог и остановки дыхания (апноэ). Попытка же его подъема в этом состоянии на поверхность связана с большим риском получения баротравмы и газовой эмболии артерий. Так что в обоих случаях очень велика вероятность смертельного исхода.

Следует знать типичные симптомы наступления кислородной интоксикации ЦНС:

- усталость и рассеянное сознание,
- головокружение, звон или музыка в ушах,
- расстройство зрения (туннельное зрение),
- тошнота, головная боль,
- подергивание губ, носа, щек, диафрагмы,
- нарушение координации движений,
- судороги и потеря сознания.

При первых же подобных проявлениях начинайте нормальное всплытие, чтобы снизить парциальное давление кислорода, и как можно быстрее переходите на дыхание воздухом. Незначительная кислородная интоксикация может не принести никакого вреда. Все же стоит придерживаться установленных ограничений, а не уповать на то, что сможете вовремя отреагировать на первые признаки интоксикации. Проявления могут возникнуть внезапно, симптоматика быстро прогрессировать, и даже посторонняя помощь оказаться бесполезной.

Итак, чтобы избежать интоксикации ЦНС, не следует превышать допустимой глубины и времени погружения. Так как азотный бездекомпрессионный лимит времени, как правило, гораздо меньше кислородного лимита времени, вероятность превышения временных ограничений меньше, чем глубинных.

При использовании смесей NITROX во время погружений, приближенных к максимально допустимой глубине, очень важно контролировать плавучесть!

Два основных правила предупреждения кислородной интоксикации ЦНС:

1. **Всегда проверяйте** и записывайте FO_2 и PO_2 для каждого погружения с использованием смеси NITROX.
2. **Никогда не превышайте** максимальную глубину и кислородный лимит времени. Малые дозы кислорода, вдыхаемые продолжительное время, приводят к легочной кислородной интоксикации. Наиболее заметными симптомами являются чувство жжения в легких и частый сухой кашель. Чаще легочная кислородная интоксикация наблюдается у больных при длительном использовании кислорода в медицинских целях, а не у подводных пловцов, использующих для дыхания смеси NITROX.

Вопросы для самоконтроля (глава 5)

1. Баллоны со смесями должны отличаться от баллонов, забитых воздухом, во избежание путаницы.

Да/Нет

2. Какие последствия могут быть при использовании по ошибке во время погружения воздуха вместо смеси NITROX?

- а) декомпрессионная болезнь
- б) кислородная интоксикация ЦНС
- в) азотный наркоз
- г) без последствий

3. Какие последствия могут быть при использовании по ошибке во время погружения смеси NITROX вместо воздуха?

- а) декомпрессионная болезнь
- б) кислородная интоксикация ЦНС
- в) азотный наркоз
- г) без последствий

4. Общее правило маркировки смесей NITROX: зеленая полоса, опоясывающая баллон в верхней части, с надписью "NITROX" большими буквами.

Да/Нет

5. Баллон со смесью NITROX должен быть снабжен биркой для указания

- а) % O_2 , PO_2 , дата, шутка

- б) название организации и номер
г) FO_2 , PO_2 , MOD, имя

в) FO_2 , MOD, дата, имя

6. Одно из двух основных правил вашей безопасности гласит: "никогда самостоятельно не проверяй смесь в баллоне".

Да/Нет

7. Бирка на баллоне со смесью служит для

- а) записи погружений
б) разведения огня
в) записи показателей смеси
г) записи его номера

8. Перед каждым использованием кислородный анализатор надо выставить

- а) на ноль
б) по содержанию кислорода в атмосферном воздухе

9. Какой кислород можно использовать для приготовления смесей NITROX?

- а) авиационный
б) медицинский
в) промышленный
г) а и б

10. Каковы последствия превышения при погружении максимально допустимого парциального давления кислорода (1.6 ATA)?

- а) легочная интоксикация
б) судороги и утопление
в) декомпрессионная болезнь
г) азотный наркоз

11. Баллоны, промаркованные надписью "NITROX", могут быть использованы только сертифицированными найтрокс-дайверами.

Да/Нет

12. Баллоны может набивать смесями любой человек, так как не существует специальных обучающих этому курсов и лицензий.

Да/Нет

13. Если на бирке, привязанной к баллону, указано FO_2 содержащейся в нем смеси, можно спокойно использовать этот баллон без дополнительной проверки.

Да/Нет

Глава 6. ТАБЛИЦЫ NTL (назад)

Аннотация к таблицам Булмана

Прежде чем применять декомпрессионные таблицы на практике, внимательно изучите инструкции по их использованию. Учтите, что даже правильное использование таблиц и компьютеров не дает 100% гарантии от возникновения проявлений кессонной болезни. Данные таблицы были разработаны в 1986 году профессором Университета в Цюрихе А. А. Булманом. Именно они выбраны потому, что отличаются исключительной точностью и надежностью. Кроме того, их можно применять для расчета многократных погружений с использованием различных газовых смесей.

Декомпрессионные мероприятия

Таблицы Булмана требуют прохождения страховочной остановки при завершении каждого погружения. Страховая остановка делается на глубине от 6 до 3 метров продолжительностью в одну минуту. Предпочтительнее остановка на 6 метрах, так как на большей глубине легче контролировать плавучесть, меньше влияние волнения на поверхности, а также значительно мягче проходит газовая диффузия.

Скорость всплытия, рекомендованная таблицами – 10 метров в минуту.

Не следует совершать серию погружений в день с многократным исчерпыванием лимитов из-за возможных побочных эффектов, связанных с накоплением азота в крови.

Погружения с прохождением страховочной остановки называются погружениями со страховочной остановкой (Safety Stop Dives); погружения, требующие точно определенных по глубине и времени декомпрессионных остановок, называются декомпрессионными погружениями (Decompression Dives).

Расчеты азотных лимитов времени смеси проводятся по трем таблицам.

погружений (NTL) для каждой стандартной

Таблицы Булмана (откроются в новое окно).

Декомпрессионные таблицы Булмана (Buhlmann) для воздуха.

NITROX 21 NITROX 28 NITROX 32 NITROX 36 NITROX 40

NITROX 21.

Таблица 1

Глубина м	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	Категория
Время на дне	25	19	16	14	12	11	10	9	8	7	7	6	A
	37	25	20	17	15	13	12	11	10	9	8	7	B
	55	37	29	25	22	20	18	16					C
	81	57	41	33	28			17	14	12	10	9	D
	105	82	59	44	35	25	20	25/5	20/4	15/3	15/4	12/4	E
	130	125	75	51	40/2	35/4	30/5						F
	150/4	150/4	90/7	60/5	50/8	40/8	35/10						G
PPO ₂	0.4	0.46	0.53	0.59	0.65	0.71	0.78	0.84	0.9	0.97	1.03	1.09	

**Погружаясь ниже 10 метров,
на глубине 3-6 метров необходимо сделать
страховочную остановку на 1 минуту.**

Таблица 2.

				часы	часы	NITROX 21
			A	2	2	
			B	20	2	
			C	10	25	ВНИМАНИЕ!
			D	10	15	Максимальная глубина
			E	10	15	(при РРО ₂ = 1.6 АТА) = 66м
	F	20	30	45	75	Рекомендуемая
G	25	45	60	75	100	максимальная глубина
F	E	D	C	B	A	для обычных погружений
					0	= от 40м до 50м
						полет

Таблица 3.

категория перед погр.	Глубина следующего погружения (в метрах)											
	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42
A	25	19	16	14	12	11	10	9	8	7	7	6
B	37	25	20	17	15	13	12	11	10	9	8	7
C	55	37	29	25	22	20	18	16	14	12	11	10

D	81	57	41	33	28	24	21	19	17	15	14	13
E	105	82	59	44	37	30	26	23	21	19	17	16
F	130	111	88	68	53	42	35	30	27	24	21	19
G	154	137	115	91	72	57	47	40	35	31	27	25

Остаточное азотное время**NITROX 28.**

Таблица 1.

Глубина м	12	14	17	21	24	27	31	34	37	40	44	47	Категория
Время на дне	25	19	16	14	12	11	10	9	8	7	7	6	A
	37	25	20	17	15	13	12	11	10	9	8	7	B
	55	37	29	25	22	20	18	16					C
	81	57	41	33	28			17	14	12	10	9	D
	105	82	59	44	35	25	20	25/5	20/4	15/3	15/4	12/4	E
	130	125	75	51	40/2	35/4	30/5						F
	150/4	150/4	90/7	60/5	50/8	40/8	35/10						G
PPO₂	0.62	0.67	0.76	0.87	0.95	1.04	1.15	1.23	1.32	1.4	1.51	1.6	

**Погружаясь ниже 10 метров,
на глубине 3-6 метров необходимо сделать
страховочную остановку на 1 минуту.**

Таблица 2.

					часы	часы	NITROX 28						
					A	2							
			B	20	2	2							
			C	10	25	3							
			D	10	15	30							
			E	10	15	25	45	4	3				
			F	20	30	45	75	90	8	4			
G	25	45	60	75	100	130		12	5				
F	E	D	C	B	A	0	полет						

ВНИМАНИЕ!**Максимальная глубина****(при PPO₂ = 1.6 АТА) = 47м****Рекомендуемая****максимальная глубина****(при PPO₂ = 1.4 АТА) = 40м**

Таблица 3.

категория перед погр.	Глубина следующего погружения (в метрах)											
	12	14	17	21	24	27	31	34	37	40	44	
A	25	19	16	14	12	11	10	9	8	7	7	
B	37	25	20	17	15	13	12	11	10	9	8	
C	55	37	29	25	22	20	18	16	14	12	11	
D	81	57	41	33	28	24	21	19	17	15	14	
E	105	82	59	44	37	30	26	23	21	19	17	
F	130	111	88	68	53	42	35	30	27	24	21	
G	154	137	115	91	72	57	47	40	35	31	27	

Остаточное азотное время**NITROX 32.**

Таблица 1.

Глубина	12	15	19	22	26	30	33	36	40	Категория
---------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----------

M										
Время на дне	25	19	16	14	12	11	10	9	8	A
	37	25	20	17	15	13	12	11	10	B
	55	37	29	25	22	20	18	16		C
	81	57	41	33	28			17	14	D
	105	82	59	44	35	25	20	25/5	20/4	E
	130	125	75	51	40/2	35/4	30/5			F
	150/4	150/4	90/7	60/5	50/8	40/8	35/10			G
PPO ₂	0.7	0.8	0.93	1.02	1.16	1.28	1.38	1.47	1.6	

**Погружаясь ниже 10 метров,
на глубине 3-6 метров необходимо сделать
страховочную остановку на 1 минуту.**

Таблица 2.

				часы	часы	NITROX 32	
			A	2	2		
			B	20	2		
			C	10	25	3	3
			D	10	15	30	3
			E	10	15	25	45
			F	20	30	45	75
			G	25	45	60	75
				100	130	120	130
						12	5
			F	E	D	C	B
						A	0
							полет

ВНИМАНИЕ!

**Максимальная глубина
(при PPO₂ = 1.6 АТА) = 40м**

**Рекомендуемая
максимальная глубина
(при PPO₂ = 1.4 АТА) = 34м**

Таблица 3.

категория перед погр.	Глубина следующего погружения (в метрах)								
	12	15	19	22	26	30	33	36	40
A	25	19	16	14	12	11	10	9	8
B	37	25	20	17	15	13	12	11	10
C	55	37	29	25	22	20	18	16	14
D	81	57	41	33	28	24	21	19	17
E	105	82	59	44	37	30	26	23	21
F	130	111	88	68	53	42	35	30	27
G	154	137	115	91	72	57	47	40	35

Остаточное азотное время**NITROX 36.**

Таблица 1.

Глубина м	13	17	21	24	28	32	34	Категория
Время на дне	25	19	16	14	12	11	10	A
	37	25	20	17	15	13	12	B
	55	37	29	25	22	20	18	C
	81	57	41	33	28			D
	105	82	59	44	35	25	20	E
	130	125	75	51	40/2	35/4	30/5	F
	150/4	150/4	90/7	60/5	50/8	40/8	35/10	G
PPO ₂	0.93	0.97	1.12	1.22	1.37	1.51	1.58	

**Погружаясь ниже 10 метров,
на глубине 3-6 метров необходимо сделать
страховочную остановку на 1 минуту.**

Таблица 2.

							NITROX 36
			A	2	2		
			B	20	2	2	
			C	10	25	3	Максимальная глубина
			D	10	15	30	(при PPO ₂ = 1.6 ATA) = 34м
			E	10	15	25	Рекомендуемая
	F	20	30	45	75	90	максимальная глубина
G	25	45	60	75	100	130	(при PPO ₂ = 1.4 ATA) = 29м
F	E	D	C	B	A	0	полет

Таблица 3.

категория перед погр.	Глубина следующего погружения (в метрах)						
	13	17	21	24	28	32	34
A	25	19	16	14	12	11	10
B	37	25	20	17	15	13	12
C	55	37	29	25	22	20	18
D	81	57	41	33	28	24	21
E	105	82	59	44	37	30	26
F	130	111	88	68	53	42	35
G	154	137	115	91	72	57	47

Остаточное азотное время**NITROX 40.**

Таблица 1.

Глубина м	16	19	23	27	30	Категория
Время на дне	25	19	16	14	12	A
	37	25	20	17	15	B
	55	37	29	25	22	C
	81	57	41	33	28	D
	105	82	59	44	35	E
	130	125	75	51	40/2	F
	150/4	150/4	90/7	60/5	50/8	G
PPO ₂	1.04	1.16	1.32	1.48	1.6	

**Погружаясь ниже 10 метров,
на глубине 3-6 метров необходимо сделать
страховочную остановку на 1 минуту.**

Таблица 2.

							NITROX 40
			A	2	2		
			B	20	2	2	
			C	10	25	3	Максимальная глубина
	D	10	15	30	3	3	(при PPO ₂ = 1.6 ATA) = 30м
							Рекомендуемая

	E	10	15	25	45	4	3	
F	20	30	45	75	90	8	4	максимальная глубина (при РРО ₂ = 1.4 АТА) = 25м
G	25	45	60	75	100	130	12	5
F	E	D	C	B	A	0	полет	

Таблица 3.

категория перед погр.	Глубина следующего погружения (в метрах)				
	16	19	23	27	30
A	25	19	16	14	12
B	37	25	20	17	15
C	55	37	29	25	22
D	81	57	41	33	28
E	105	82	59	44	37
F	130	111	88	68	53
G	154	137	115	91	72

Остаточное азотное время

Таблица 1

Таблица 1 дает возможность рассчитать время погружения в зависимости от его глубины. Также таблица показывает количество остаточного азота в организме после первого погружения.

В верхнем ряду таблицы приведены различные значения глубин. Если глубина вашего погружения не соответствует ни одному из перечисленных, возьмите для расчетов ближайшее большее значение.

В колонках под величинами глубин указаны различные значения времени погружения. Если время вашего погружения отсутствует, так же возьмите ближайшее большее значение.

В правой колонке буквами латинского алфавита соответственно строкам со значениями времени обозначены категории остаточного азота (Residual Group). Категории остаточного азота показывают степень концентрации азота в тканях организма сразу после погружений и используются в таблице 2.

Внизу каждой колонки рядом с предельно допустимыми показаниями времени погружений указана продолжительность декомпрессионной остановки. Это значит, что время, позволяющее ограничиться страховочной остановкой, превышено. В этом случае при всплытии необходимо сделать декомпрессионную остановку на глубине 3 метра. Значение, отделенное наклонной чертой – время декомпрессионной остановки (максимально 10 минут). К примеру, указанное в таблице значение 35/10 показывает, что погружение продолжительностью 35 минут во время всплытия потребует 10-минутной декомпрессионной остановки на 3 метрах.

Таблица 2

Таблица 2 позволяет определить значение степени концентрации азота в тканях (категорию остаточного азота) перед повторным погружением в зависимости от времени пребывания на поверхности (Surface Interval), а также время полного освобождения организма от азота.

Для расчета категории остаточного азота перед повторным погружением необходимо выбрать в таблице 2 строку, соответствующую значению категории остаточного азота после вашего предыдущего погружения. В этой строке найти время, проведенное вами на поверхности, и спуститься по колонке вниз. (Если время на поверхности находится между двух значений, обозначенных в таблице, то в расчетах используется меньшее значение). В нижней выделенной строке будет находиться искомая категория остаточного азота перед повторным погружением. Например, если интервал на поверхности приходится на

промежуток между 20 минутами (категория С) и 40 минутами (категория В), то выбранной категорией для повторного погружения должна быть категория С. Время полного освобождения организма от азота расположено в предпоследней колонке строки, соответствующей значению категории остаточного азота после вашего предыдущего погружения. В последней колонке находится время необходимого интервала перед предстоящим авиаперелетом.

Повторное погружение с использованием другой смеси

При серии погружений с использованием различных смесей следует определять категорию остаточного азота для повторного погружения по таблице 2 и применять ее в таблице 3 той смеси, которую вы намерены использовать для следующего погружения. Для начального погружения рекомендуется использовать смесь с наименьшим содержанием кислорода (например, воздух), а для повторных – с большим.

Остаточное азотное время (RNT)

Время, необходимое для выхода азота из тканей организма, зависит от глубины и продолжительности погружения. Остаточное азотное время показывает остаток азота в организме после погружения и времени, проведенного на поверхности. Остаточное азотное время выражено в минутах "штрафного" времени, приведенных к соответствующим глубинам.

Таблица 3

В левой колонке найдите строку с буквенным значением категории остаточного азота перед повторным погружением.

В верхнем ряду – колонку со значением планируемой глубины повторного погружения. Если значение планируемой глубины отсутствует, следует взять ближайшее меньшее ее значение. (Это немного добавит "штрафного" времени, увеличив вашу безопасность). В месте их пересечения вы найдете значение остаточного азотного времени для выбранной глубины.

Фактическое время погружения (ABT)

Фактическое время погружения – это время от начала погружения до начала подъема. При бездекомпрессионных погружениях оно не включает в себя время подъема на поверхность. При декомпрессионных погружениях или погружениях со страховочной остановкой оно считается от начала погружения до начала страховочной или первой декомпрессионной остановки.

Общее время повторного погружения (TBT)

Общее время повторного погружения – это время повторного погружения после вычета остаточного от предыдущего погружения азотного времени. Если повторное погружение требует только минутной страховочной остановки, то фактическое время повторного погружения вычисляется вычитанием остаточного азотного времени из бездекомпрессионного времени погружения, обозначенного в таблице 1:

$$\text{NST}^{20} - \text{RNT} = \text{ABT}$$

(для погружения со страховочной остановкой)

Если же повторное погружение требует декомпрессионной остановки, то общее время погружения будет складываться из фактического времени погружения и остаточного азотного времени:

$$\text{ABT} + \text{RNT} = \text{TBT}$$

(для декомпрессионного погружения)

Авиаперелеты после погружений

Перед предстоящим авиаперелетом после последнего погружения необходимо выдержать определенный интервал времени. Это обусловлено тем, что во время полета в салоне самолета поддерживается абсолютное давление ниже атмосферного, приблизительно равное давлению на высоте 2000 метров над уровнем моря. Разница парциальных давлений азота остаточного и абсолютного атмосферного при этом значительно возрастает, что может привести к декомпрессионной болезни.

Значения необходимых перед авиаперелетом интервалов указаны в правой колонке, обозначенной значком "самолетик", таблицы 2.

Этот же интервал рекомендуется
погружений подниматься в горы на высоту 2000 метров над уровнем моря.

выдержать тем, кто собирается после
занятий подниматься в горы на высоту 2000 метров над уровнем моря.

**NITROX дольше, чаще и техничнее.
Это серьезный подход к увлечению.**

СНОСКИ ([назад](#))

¹ Technical Diving International – это крупнейшая международная компания, занимающаяся техническим дайвингом. Организована она одним из мировых лидеров по производству дайвинг-оборудования корпорацией "UWATEC USA" в 1994 году в США. ([назад](#))

² Использование дыхательных смесей найтронс, тримикс и т.д., применение рециркулярных аппаратов полузамкнутого типа. ([назад](#))

³ Состав атмосферного воздуха: 20.95% – кислород, 78.08% – азот, 0.03% – углекислый газ, 0.94% – пары воды и другие газы. Приблизительный состав выдыхаемого воздуха: 15.8% – кислород, 74.4% – азот, 3.6% – углекислый газ и 6.2% – пары воды и другие газы. ([назад](#))

⁴ NITROX с содержанием кислорода ниже 21% применяется профессиональными дайверами для глубоководных погружений. В данном курсе название "NITROX" будет использоваться только для обозначения обогащенных кислородом воздушных смесей. ([назад](#))

⁵ Существуют другие названия этих же смесей, оставленные для использования в честь Национальной Океанической и Атмосферной Администрации США. Это: "NOAA NITROX-1" (NN1) – содержит 32% кислорода и "NOAA NITROX-2" (NN2) – содержит 36% кислорода. ([назад](#))

⁶ Бары и метры – метрические единицы, принятые в Европе. Футы, ATA и футы на квадратный дюйм – стандартные единицы, принятые в США. ([назад](#))

⁷ P – обозначение давления (от английского pressure). ([назад](#))

⁸ D – обозначение глубины (от английского depth). ([назад](#))

⁹ Menduno, M., aquaCORPS, January 1992, Vol.3 No.1. ([назад](#))

¹⁰ В старых российских водолазных справочниках вы можете встретить другие, большие значения допустимого парциального давления кислорода. Исследования, проведенные NOAA в 1990 году, показали, что именно это РО₂ действительно безопасно. ([назад](#))

¹¹ Maximum operating depth. ([назад](#))

¹² Ограничения парциального давления кислорода впервые были опубликованы в 1963 году в пособии Военно-Морских Сил по плаванию с аквалангом (Navy Dive Manual), а затем были пересмотрены NOAA в 1990 году. ([назад](#))

¹³ No-decompression Limit (NDL), Nitrogen Time Limit (NTL). ([назад](#))

¹⁴ Некоторые люди выдыхают CO₂ больше нормы. Симптомы, которые могут указывать на это (без прохождения мед. обследования), – глубокий азотный наркоз, головные боли после погружений и/или использование меньшего количества воздуха по сравнению с подводными пловцами такой же комплекции. AquaCORPS Vol.3 No.1, pg. 67-69, Lanphier, Gilliam. ([назад](#))

¹⁵ Equivalent Air Depth. ([назад](#))

¹⁶ No-decompression Limit (NDL), Nitrogen Time Limit (NTL). ([назад](#))

¹⁷ NOAA Diving Manual, 1979, 11-10. ([назад](#))

¹⁸ SAFE AIR NITROX – торговая марка компании American Nitrox Divers. Inc. ([назад](#))

¹⁹ The Physiology and Medicine of Diving, Bennett & Bennett, 1982, стр. 213, 215. ([назад](#))

²⁰ No-Stop Time