



# Графическое определение состава многокомпонентных искусственных дыхательных газовых смесей

Волобуев Александр

В статье рассмотрены способы использования треугольных диаграмм для графического определения состава дыхательных газовых смесей, состоящих из кислорода, гелия и азота, таких как нитрокс, гелиокс и тримикс. Изложены интерпретация подобных диаграмм, примеры их использования для определения состава различных дыхательных смесей, а также даны способы определения так называемой «лучшей смеси» для конкретной глубины.

## 1. Введение

В подавляющем большинстве случаев в состав дыхательных газовых смесей (ДГС), которые используются для водолазных спусков, входит не более трех газов: кислород ( $O_2$ ), гелий (He) и азот ( $N_2$ ).

В любительском дайвинге и при большинстве водолазных работ используются, как правило, двухкомпонентные ДГС – воздух и кислород-

но-азотная смесь, или нитрокс (nitrox). При выполнении глубоководных водолазных спусков в рамках выполнения подводно-технических работ, научно-исследовательских погружений или технического дайвинга в состав ДГС включается третий компонент – гелий. Гелий обладает низким наркотическим воздействием на организм человека, а также уменьшает общую плотность ДГС, что приводит к снижению сопротивления дыханию водолаза и сокращению его энергопо-

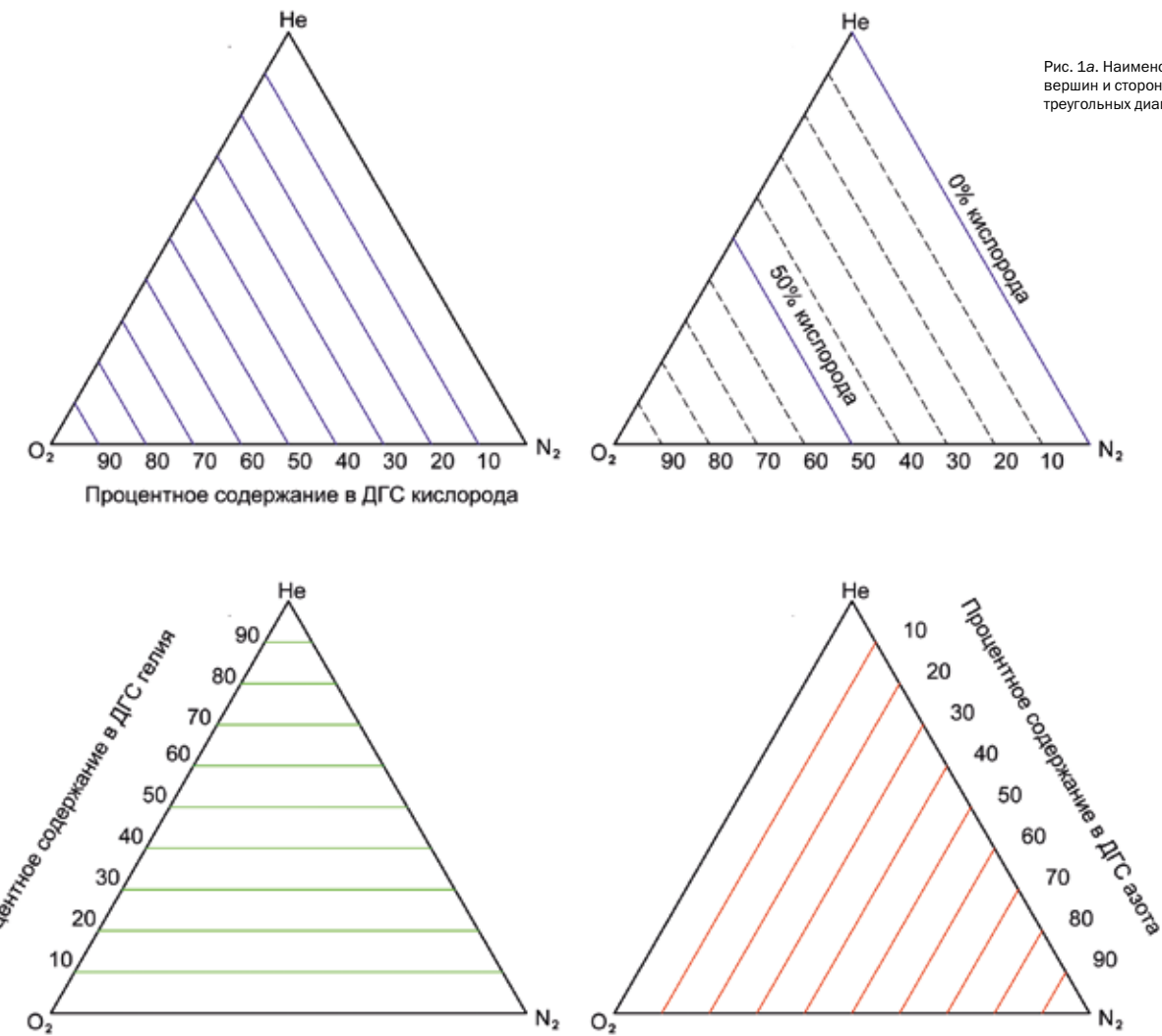


Рис. 1а. Наименования вершин и сторон треугольных диаграмм

теперь ДГС, состоящие из кислорода, гелия и азота, называются кислородно-азотно-гелиевыми смесями (КАГС), или тримиксом (trimix).

В настоящей статье изложены способы применения на практике треугольных диаграмм для графического определения необходимого содержания кислорода, гелия и азота при их использовании в составе ДГС для водолазных спусков. Подобные треугольные диаграммы используются в материаловедении для графического определения содержания металлов и жидкостей в различных сплавах и смесях. Насколько нам известно, этот способ ранее не использовался для отображения состава газовых смесей.

Треугольные диаграммы демонстрируют возможные сочетания ДГС (КАС, КГС, КАГС) и обеспечивают наглядное представление об отношении частей газов в составе ДГС.

Большая часть статьи посвящена описанию способов использования треугольных диаграмм на практике. В ней будет продемонстрировано, как «читать» эти диаграммы и использовать их при обучении водолазному делу, для приго-

товления ДГС и при определении «лучшей смеси» для конкретной глубины.

## 2. Описание способа

Треугольная диаграмма представляет собой равносторонний треугольник, каждая из вершин которого соответствует одному из трех газов – кислороду ( $O_2$ ), гелию (He) и азоту ( $N_2$ ), катеты этого треугольника – оси соответствующих газов, по которым определяют их процентное содержание в ДГС.

Значение парциального давления газа уменьшаются от 100 % в своей вершине до 0 % в противоположной (рис. 1, а). Чистому (100 %)  $O_2$  соответствует левая нижняя вершина, в то время как 100 % He и 100 %  $N_2$  располагаются в верхнем и нижнем правом углах, соответственно.

Каждая точка внутри диаграммы соответствует различным комбинациям трех компонентов, то есть каждая точка – это ДГС со своим процентным содержанием газов. Для упрощения использования диаграммы и большей нагляд-

ности линии процентного содержания газов параллельны ребрам треугольника и проведены через равные расстояния. Назначение каждой линии показано на рис. 1, а. Практическое использование диаграммы показано на рис. 1, б и рассмотрено на примерах 1–5.

**Пример 1.** Рассмотрим положение точки 1, дыхательную газовую смесь, которая соответствует этой точке, обозначим как ДГС-1. Для определения состава ДГС-1:

1. Из точки 1 проводим горизонтальную линию до пересечения с осью  $O_2-He$  (зеленая линия). Точке пересечения горизонтальной линии с осью  $O_2-He$  соответствует значение 50, это значит, что в ДГС-1 содержится 50 % гелия.

2. Далее из точки 1 проводим линию, параллельную оси  $O_2-He$  до пересечения с осью  $He-N_2$  (красная линия) – точке пересечения этой линии с осью  $He-N_2$  соответствует значение 32, это значит, что в ДГС-1 содержится 32 % азота.

3. В завершение проводим третью линию, параллельную оси  $He-N_2$  до пересечения с осью  $N_2-O_2$  (синяя линия) – точке пересечения этой линии с осью  $N_2-O_2$  соответствует значение 18, это значит, что в ДГС-1 содержится 18 % кислорода.

**Таким образом, точке 1 соответствует ДГС со следующим содержанием газов:  $O_2$  – 18%;  $N_2$  – 32%;  $He$  – 50 %.**

В техническом дайвинге такая ДГС имеет обозначение Тх18/50, в котором Тх обозначает тримикс; первое значение 18 – процентное содержание кислорода; второе значение 50 – процентное содержание гелия; оставшиеся проценты:  $100-18-50=32$  относятся к азоту и отдельно не обозначаются. В отечественной традиции такая ДГС имела бы обозначение 18 % КАГС, где 18 – процентное содержание кислорода.

**Пример 2.** Рассмотрим положение точки 2 и определим состав ДГС, дыхательную газовую смесь, которая соответствует этой точке, обозначим как ДГС-2. Проведем те же операции, что и в первом примере, но уже с точкой 2. Итак,

1. Содержание гелия – точка пересечения горизонтальной прямой с осью  $O_2-He$  (зеленая линия) = 30 %.

2. Содержание азота – точка пересечения прямой с осью  $He-N_2$  (красная линия) = 40 %.

3. Содержание кислорода – точка пересечения прямой с осью  $N_2-O_2$  (синяя линия) = 30 %.

**Состав ДГС-2: кислород 30%; азот 40%; гелий 30 %.**

Теперь давайте рассмотрим случай, когда содержание одного из компонентов ДГС равно нулю.

**Пример 3.** Дыхательную газовую смесь, которая соответствует точке 3, обозначим как ДГС-3.

1. Точка 3 лежит на горизонтальной оси  $N_2-O_2$  – в этом случае содержание гелия в смеси будет равно 0, так как горизонтальная линия совпадает с осью  $N_2-O_2$  и пересекает ось  $O_2-He$  в точке со значением 0 %.

Дальнейший процесс определения процентного содержания газов идентичен рассмотренным ранее примерам.

Рис. 1, б. Примеры 1–5 использования треугольных диаграмм для определения состава ДГС



2. Содержание азота – точка пересечения прямой с осью  $He-N_2$  (красная линия) = 64 %.

3. Содержание кислорода – точка пересечения прямой с осью  $N_2-O_2$  = 36 %.

**В итоге получим, что ДГС-3 состоит из следующих газов: кислород 36%; азот 64%; гелий 0%. Или иначе: 36 КАС (нитрокс).**

Таким образом, любая точка, лежащая на оси  $N_2-O_2$ , содержит в своем составе только  $N_2$  и  $O_2$ , следовательно, на оси  $N_2-O_2$  лежат точки, принадлежащие кислородно-азотным смесям различного процентного состава, или нитрокс.

В дайвинге КАС часто обозначают EANx, где x – процентное содержание кислорода. Например, EAN32 – это КАС (нитрокс) с содержанием кислорода 32 %. Аналогично все ДГС, содержащие только  $O_2$  и  $He$ , называются кислородно-гелие-

выми смесями (КГС), или гелиокс. На треугольной диаграмме им принадлежит ось  $O_2-He$ .

**Пример 4.** Рассмотрим положение точки 4 на треугольной диаграмме и определим состав ДГС-4.

1. Точка 4 лежит на оси  $O_2-He$ , это значит, что содержание  $N_2$  в смеси, которой соответствует эта точка, равно 0.

2. Содержание гелия – точка пересечения горизонтальной прямой с осью  $O_2-He$  = 85 %.

3. Содержание кислорода – точка пересечения прямой с осью  $N_2-O_2$  = 15 %.

**Искомый состав ДГС-4: кислород 15%; азот 0%; гелий 85%. Или иначе – 15 % КГС.**

**Пример 5.** Точка 5 лежит на одной из вершин треугольника, по ранее описанной методике определим содержание других газов в ДГС.

1. Содержание гелия – точка пересечения горизонтальной прямой с осью  $O_2-He$  = 0 %.

2. Содержание азота – точка пересечения прямой с осью  $He-N_2$  = 0 %.

3. Содержание кислорода – точка пересечения прямой с осью  $N_2-O_2$  = 100 %.

**Таким образом, положение точки 5 соответствует ДГС-5, состоящей только из кислорода.**

Результаты примеров сведены в табл. 1.

### 3. Область применения

Этот раздел посвящен описанию способов практического использования треугольных диаграмм для определения оптимального типа ДГС, при обучении водолазному делу, для приготовления ДГС и для определения оптимального состава ДГС для водолазного спуска.

#### 3.1. Определение типа ДГС

Одной из областей, в которой могут использоваться треугольные диаграммы, это определение типов ДГС, пригодных для водолазных спусков на различные глубины. Подобный подход очень нагляден и довольно прост и может использоваться при первоначальном обучении водолазному делу.

Наиболее используемые типы ДГС показаны на рис. 2. Самый распространенный газ в водолазном деле – воздух – отмечен стрелкой на нижней оси. Как известно, он содержит примерно 21 %  $O_2$  и 79 %  $N_2$ . Как уже упоминалось



Рис. 2. Определение типов ДГС

■ гипероксические ДГС ■ гипоксические ДГС  
■ нормооксические ДГС ■ неиспользуемые ДГС

во втором разделе, нижняя ось соответствует кислородно-азотным смесям, а левая ось – кислородно-гелиевым.

Относительно состава воздуха в водолазном деле используются следующие обозначения типов ДГС: нормооксические (normoxic trimix) с содержанием  $O_2$  в пределах между 18 и 22 %; гипоксические (hypoxic trimix) с содержанием  $O_2$  меньше 18 % и гипероксические (high oxygen trimix или HОТх) с содержанием  $O_2$  выше 22 %.

На рис. 2 нормооксические ДГС окрашены в зеленый цвет, гипоксические – в желтый и гипероксические – в голубой цвет.

Заштрихованная область – это ДГС, которые редко используются в водолазном деле из-за высокого содержания азота.

Таблица 1

Состав ДГС и их наименование

№ точки	Содержание газа в ДГС, %			Наименование ДГС
	$O_2$	$N_2$	He	
1	18	34	50	Тх18/50
2	30	40	30	Тх30/30
3	36	64	0	ЕАН36 (36% КАС)
4	15	0	85	15/85 heliox (15% КГС)
5	100	0	0	Oxygen (Кислород)