

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра экологии и природопользования

О.В.Чекмарева, А.И. Байтелова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА, СЕРЫ И УГЛЕРОДА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических указаний для студентов, обучающихся по программам высшего образования по направлениям подготовки 05.03.06 Экология и природопользование и 20.03.01 Техносферная безопасность, и 20.04.01 Техносферная безопасность

Оренбург
2017

УДК 502.3(076.5)
ББК 26.23я7

Ч 37

Рецензент - кандидат технических наук М.Ю. Глуховская

Чекмарева, О.В.

Ч 37 Определение содержания оксидов азота, серы и углерода в атмосферном воздухе: методические указания/ О.В. Чекмарева, А.И. Байтелова
Оренбургский гос. ун-т - Оренбург: ОГУ, 2017. - 32 с.

Основное содержание: ознакомление с составом газоанализатора ДАГ-500, приобретение практических навыков самостоятельного определения содержания в отработанных газах кислорода, угарного газа, окиси азота, двуокиси серы, двуокиси азота.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ и курсового проекта по дисциплине «Промышленная экология и рациональное использование природных ресурсов» для магистров, обучающихся по направлению подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность и выполнения лабораторных работ по дисциплинам «Промышленная экология» для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность и «Прикладная экология» для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 05.03.06 Экология и природопользование.

УДК 502.3(076.5)
ББК 26.23я7

© Чекмарева О.В.
Байтелова А.И., 2017

© ОГУ, 2017

Содержание

Введение.....	4
1 Общие сведения о газоанализаторе ДАГ-500.....	5
1.1 Общие положения	5
1.2 Ход работы.....	5
1.3 Контрольные вопросы.....	7
2 Работа с прибором ДАГ-500.....	8
2.1 Общие положения	8
2.2 Ход работы.....	8
2.3 Контрольные вопросы.....	14
3 Работа с функциями прибора ДАГ-500.....	15
3.1 Общие положения.....	15
3.2 Ход работы.....	16
3.3 Контрольные вопросы.....	18
4 Измерение давления и коррекция значения T_i	19
4.1 Общие положения.....	19
4.2 Ход работы.....	19
4.3 Контрольные вопросы.....	21
5 Выбор вида топлива.....	21
5.1 Общие положения	21
5.2 Ход работы.....	22
5.3 Контрольные вопросы.....	24
6 Определение содержания CO_2 и NO_x	24
6.1 Общие положения.....	24
6.2 Ход работы.....	24
6.3 Контрольные вопросы.....	29
Список использованных источников	30
Приложение А	31

Введение

Газоанализатор ДАГ-500 является надежным измерительным прибором, который позволяет произвести необходимые измерения в любое время, в любом месте. Он применим для технического мониторинга и использования в различных областях, включая химию, разработку различных технологий, создания топливных установок и двигателей.

Прибор ДАГ-500 предназначен для контроля выбросов вредных веществ и оптимизации работы топливных установок путем контроля содержания в отработанных газах следующих компонентов: кислорода, угарного газа, окиси азота, двуокиси серы, двуокиси азота.

Газоанализатор ДАГ-500 следует эксплуатировать в диапазоне температур от +10 °С до +40 °С. Этот диапазон контролируется самим прибором и в случае выхода за границы диапазона на экране прибора появляется соответствующая информация. При очень низкой температуре прибор следует разогреть (внешний подогрев). При очень высокой температуре перенести прибор в другое место или охладить. Газоанализатор ДАГ-500 автоматически производит температурную коррекцию показаний. Для проведения наиболее точных измерений необходимо обеспечить постоянную температуру воздуха в месте измерения. Для защиты датчиков измеряемый газ пропускается через пылевой фильтр. При визуальном загрязнении фильтра его следует сменить.

Хранение прибора возможно при температуре от минус 20 °С до +50 °С. Нельзя хранить и эксплуатировать прибор в местах сосредоточения паров кислот, щелочей и растворителей.

1 Общие сведения о газоанализаторе ДАГ-500

Цель работы: ознакомиться с газоанализатором ДАГ-500.

1.1 Общие положения

Газоанализатор ДАГ-500 является многофункциональным измерительным прибором высокого класса, широкие возможности которого могут наиболее полно проявиться при условии компетентного обслуживания прибора. Газоанализатор ДАГ-500 представляет собой законченный портативный многофункциональный прибор со средствами отбора пробы, обработки данных и регистрацией результата на термобумаге и электронных носителях информации. В комплект прибора входит:

- собственно газоанализатор, включающий в себя все основные компоненты измерения, обработки и регистрации;
- зонд с термопарой, компенсационным проводом, газовым шлангом, конденсатоуловителем со встроенным фильтром очистки измеряемого газа;
- блок питания, обеспечивающий работу прибора и зарядку встроенного аккумулятора от сети;
- футляра, предназначенный для укладки комплекта газоанализатора в нерабочем состоянии.

1.2 Ход работы

Газоанализатор ДАГ-500 имеет клавиатуру с шестью клавишами. Клавиши имеют символическое обозначение согласно их функциональному назначению (таблица 1.1). В зависимости от функций, выполняемых прибором в текущий момент времени, некоторые клавиши могут не действовать, назначение меняться в зависимости от контекста выполняемой функции.

Таблица 1.1 - Обозначение клавиш газоанализатора ДАГ-500

Клавиша	Выполняемая функция
	Включение/ выключение прибора.
	«ENTER», подтверждение команды, остановка обновления выводимой на дисплей информации и включение/выключение насоса.
	Включение подсветки дисплея (по отдельному заказу).
	Перемещение указателя вниз, уменьшение на единицу.
	Запись информации на текущий регистратор, перемещение указателя вверх, увеличение на единицу.
	Переход в функциональное меню, отмена команды.

Ввиду ограниченного объема информации, выводимой на дисплей производится постраничный вывод с возможностью переключения экранов клавишами  . Сокращения измеряемых величин на дисплее, внешнем принтере и переданные по интерфейсу RS232 совпадают и имеют следующие обозначения:

- температура газа в месте забора пробы - Tg;
- температура внутри прибора - Td;
- температура окружающего воздуха - Ta;
- содержание кислорода - O₂;
- содержание угарного газа - CO;
- содержание углекислого газа - CO₂;
- содержание окиси азота - NO;
- содержание двуокиси азота - NO₂;
- сумма окислов азота - NO_x;
- содержание двуокиси серы - SO₂;
- содержание сероводорода - H₂S;
- давление / разряжение - p;
- коэффициент потерь - qA;

- коэффициент избытка воздуха - A_{lf} ;
- напряжение аккумулятора - U_{accu} ;
- производительность насоса - Q_v ;
- температура воздуха, поступающего на горение - T_i .

Единицы измерения имеют следующие сокращения:

- градусы Цельсия - $^{\circ}C$;
- проценты объема - %;
- ppm (parts per million, 1/1000000 часть объема) - p;
- миллиграмм на нормальный кубометр - mg ;
- приведенные к нормированному содержанию O_2 - M ;
- NO_x в пересчете на NO_2 - mn ;
- NO_x приведенные к нормированному содержанию O_2 в пересчете на NO_2 - Mn .

Основные технические характеристики прибора представлены в приложении А.

1.3 Контрольные вопросы

1. Для чего предназначен газоанализатор ДАГ-500?
2. Что входит в комплект газоанализатора ДАГ-500?
3. Какую клавиатуру имеет газоанализатор ДАГ-500?
4. Перечислите основные сокращения измеряемых величин, выводимые на дисплей газоанализатора ДАГ-500.
5. Перечислите основные сокращения единиц измерения, которые используются при работе с газоанализатором ДАГ-500.

2 Работа с прибором ДАГ-500

2.1 Общие положения

Индустриализация и постоянное стремление человечества к дальнейшему процветанию привели к большому росту потребления энергии. Это, конечно, вызывает соответствующее увеличение производства энергии; однако, несмотря на постоянное увеличение производства энергии и продолжающееся улучшение энергетической техники, выброс вредных веществ с дымовыми газами продолжает расти и даже угрожает превысить природную поглотительную способность атмосферы и биосферы. Большая озабоченность состоянием окружающей среды, рост платы за энергию и повсеместное ужесточение нормативов по ограничению уровня выбросов требуют неуклонного улучшения качества оборудования, применяемого для измерений, испытаний и контроля. Такое оборудование должно быть, как можно более универсальным и портативным. Таким прибором является газоанализатор ДАГ-500.

2.2 Ход работы

Место измерений. Газоанализатор ДАГ-500 позволяет осуществлять контроль за содержанием загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и в топливных установках.

Если в топливной установке не предусмотрен забор пробы для контроля отходящих газов или нет соответствующих нормативных требований к месту отбора пробы проведение измерений, необходимо просверлить отверстие на расстоянии $2 \cdot D$ от выхода котла топливной установки, где D диаметр выпускной трубы (рисунок 2.1).

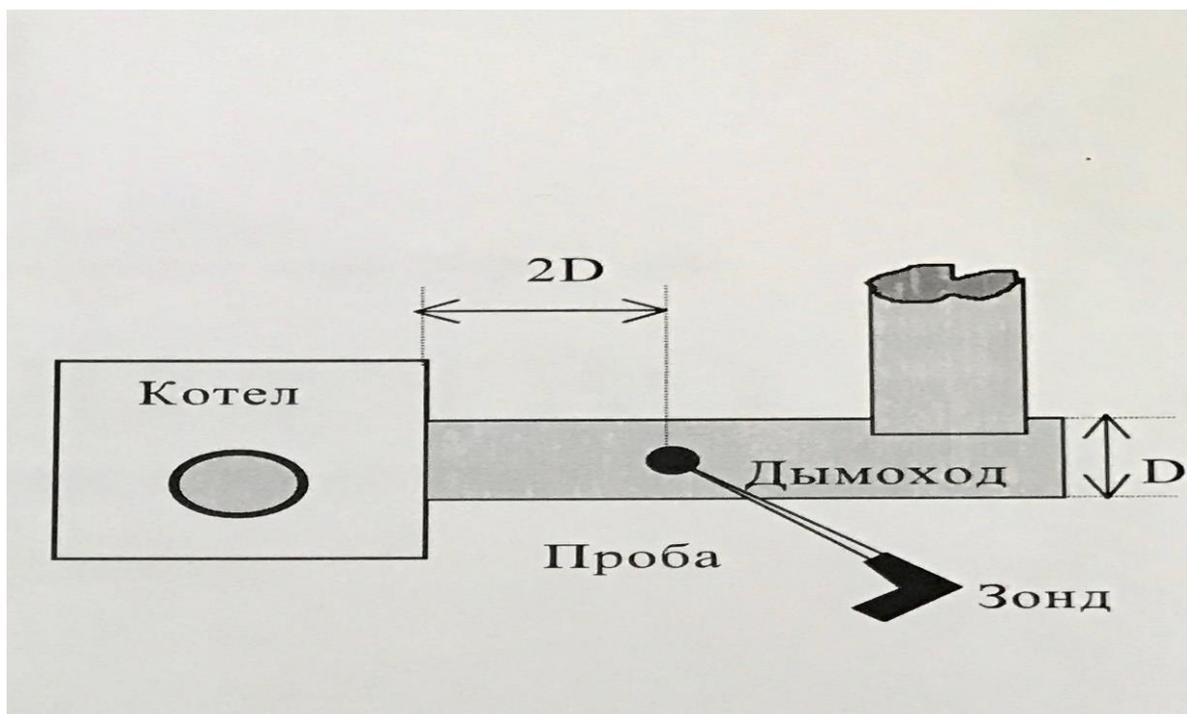


Рисунок 2.1 - Схема расположения зонда в газоходе котла

Место измерения должно быть легко доступным. При установке зонда необходимо:

- установить прибор на ровной холодной поверхности (возможна работа на руках); ввести зонд в газоход;
- путем перестановки зонда найти место потока с наибольшей температурой (контроль ведется по величине T_g);
- закрепить зонд фиксатором;
- если заборное отверстие имеет диаметр свыше 20 мм, то необходимо его дополнительно уплотнить для предотвращения подсоса воздуха.

Зонд должен располагаться под небольшим углом, который не позволит конденсату в трубке зонда попасть в прибор (рисунок 2.1).

Включение прибора. По возможности подключать прибор к сети с помощью выносного источника питания. Возможна работа и заряд аккумулятора от бортовой сети автомобиля (12V с заземленным минусом) через разъем прикуривателя. Прибор может работать и от встроенного

аккумулятора (не менее 5 часов при полностью заряженных аккумуляторах, без учета работы подсветки дисплея).

Подсоединить к прибору разъем датчика температуры газа.

Газовый шланг подсоединить к ниппелю «ГАЗ» (вход газа).

Необходимо проверить отсутствие конденсата в конденсатосборнике и фильтр очистки газа (при загрязнении обязательно заменить другим). Газозаборный зонд **не должен находиться** в потоке дымового газа, так как прибор калибруется по чистому атмосферному воздуху. Отверстие для отходящего газа на торце прибора должно оставаться **открытым**. По этой причине прибор должен находиться на твердой поверхности, а при работе навесу недопустимо закрытие выходного сопла руками. Прибор необходимо беречь от теплового излучения. Рабочая температура от + 10 °С до + 40 °С.

Включение газоанализатора производится нажатием клавиши  на время около секунды. При включении прибора на дисплей выводится напряжение на аккумуляторе или надпись «Внешний адаптер», при подключенном внешнем питании. Если напряжение питания **ниже 5.8 В**, прибор автоматически выключается. В этом случае необходимо подключить прибор к сети через внешний адаптер или к источнику постоянного напряжения 12 Вольт и продолжать работу от внешнего источника питания или дать возможность зарядиться аккумулятору в течение не менее 6 часов.

****ГАЗОАНАЛИЗАТОР****
***** ДАГ-500 *****
Зарядка аккумулятора
Uaccu = 6.3V - 100%

При подсоединении сетевого адаптера к выключенному газоанализатору, прибор автоматически включается и индицирует процесс зарядки аккумулятора (прибор выключается при снятии внешнего питания). Для начала работы при индикации зарядки аккумулятора следует нажать клавишу .

Калибровка <
Внешний датчик
Просмотр памяти
Состояние прибора

Работа с прибором начинается с выбора режима. Выбор производится указателем в виде маркера «<>», который перемещается клавишами  и , а затем подтверждается клавишей . Если в течение тридцати секунд не будет

выбрана ни одна из функций прибор автоматически отключается. Функции «Просмотр памяти» и «Состояние прибора» аналогичны основному функциональному меню и описаны ниже. Для начала работы со встроенными газовыми датчиками необходимо выбрать функцию «Калибровка».

После этого на дисплей выводится конфигурация данного прибора (информация меняется через три секунды): тип прибора, заводской номер прибора, дата последней калибровки на предприятии изготовителе или фирме сервисного обслуживания, установленные датчики и их диапазоны измерения (рисунок 2.2).

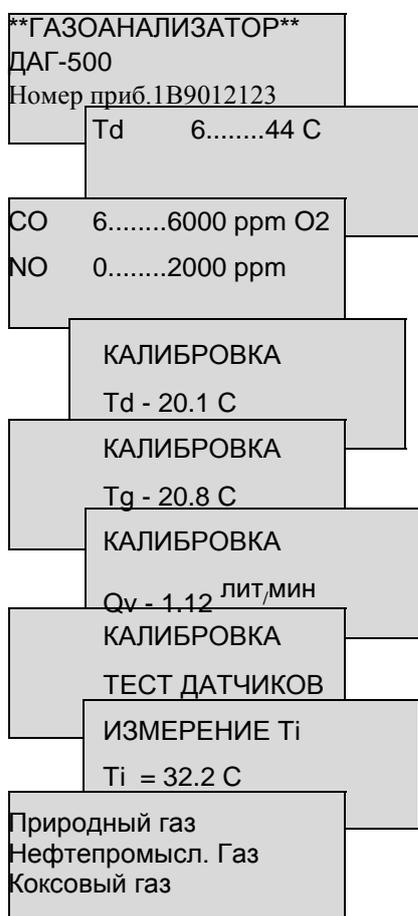


Рисунок 2.2 - Конфигурация прибора ДАГ-500 на дисплее

Затем прибор проверяет возможность проведения автоматической самокалибровки по чистому воздуху. Для этого необходимы следующие условия:

- температура внутри прибора T_d от 6 °С до 44 °С;
- температура газа T_g от минус 20 °С до 60 °С;
- производительность насоса $Q_m > 0,5$ л/м.

Эти параметры проверяются автоматически с выводом на дисплей контролируемой величины, при несоответствии калибровка останавливается и выдается предупреждение о возможных ошибках измерения - «ВНИМАНИЕ».

Если к прибору перед включением не был подключен газозаборный зонд, то газоанализатор ожидает его подключения (выводится сообщение «ЗОНД НЕ ПОДКЛЮЧЕН»). Если зонд не будет подключен в течение минуты, прибор выключается.

После проверки условий калибровки прибор переходит непосредственно к калибровке газовых датчиков, которая продолжается в течение 200 секунд и является важной частью проведения измерений. Невозможно прервать или сократить фазу калибровки, поскольку клавиатура заблокирована. В это время газозаборный зонд **не должен находиться в потоке дымового газа**, так как прибор калибруется по чистому атмосферному воздуху. Воздух служит эталоном для настройки датчиков: $O_2=20,9$ об.%, $CO = NO = SO_2 = NO_2 = 0$ ppm. От грамотного проведения калибровки во многом зависит точность изменения газов с малой концентрацией.

По окончании калибровки происходит проверка величины начального смещения датчиков, при обнаружении несоответствия выдается сообщение о неисправности: «*** **НЕИСПРАВЕН !**», калибровка останавливается, продолжение возможно при нажатии клавиши . Прибор не производит вывод данных с неисправного датчика, в строке против измеряемой величины выставляется флаг ошибки: «*****НЕИСП.**».

Затем газоанализатор выключает насос, переходит в меню измерения температуры воздуха, поступающего на горение, измерение которой производится термопарой газозаборного зонда и подтверждается клавишей  и переходит в меню выбора вида топлива. С помощью клавиш  и  могут быть вызваны любой из 10 запрограммированных, также два

свободнопрограммируемых видов топлива. Указатель выбора появляется в виде знака “<”. Выбранный вид топлива подтверждается нажатием клавиши . После выбора топлива прибор переходит в основное измерительное меню.

Прибор готов к измерениям. Для проведения измерения необходимо:

- включить насос клавишей ;
- ввести зонд в газовый канал так, чтобы зонд попал в ядро потока (зону максимальной температуры);
- закрепить зонд;
- результат измерения будет иметь заданную точность после трех минут измерения.

Мгновенные значения измеряемых величин можно непосредственно считывать с дисплея (переключение выводимых величин клавишей ) или регистрировать, нажимая клавишу . Для использования дополнительных возможностей прибора или модификации измеряемых величин нужно перейти в основное функциональное меню, нажав клавишу . Возврат из функционального меню или любого подменю - та же клавиша.

По окончании измерений необходимо:

- продуть прибор свежим воздухом, по крайней мере до того момента, пока показания датчиков не достигнут величины 3-5 ppm, но лучше до полного обнуления;
- выключить прибор, нажав клавишу  (в ходе работы ошибочное нажатие клавиши  можно отменить клавишей  течение трех секунд, пока выводится сообщение «Прибор будет выключен!»);
- удалить накопившуюся воду из конденсатосборника;
- если измерения проводились на автономном питании - подзарядить аккумулятор.

Электрохимические датчики очень чувствительны к превышениям концентрации, поэтому следует обращать внимание на то, чтобы величины измерения не превышали допустимый диапазон. В случае, если датчик более 10 секунд заполняется газом такой концентрации, которая превышает

диапазон измерения или установленный порог защиты, то прибор выключает насос и прекращает забор данной пробы. На дисплее появляется информация о перегрузке датчика: «*** **ПЕРЕГРУЖЕН НАСОС ВЫКЛЮЧЕН**». Зонд следует убрать из измерительного канала, чтобы в прибор мог поступать свежий воздух. Только за этим включить насос. Если зафиксировано превышение диапазона измерения, то время превышения заносится в память и может быть прочитано специалистами, обслуживающими прибор на предприятии изготовителе или службе сервиса.

Чем больше концентрация превышает предельно допустимую, тем больше времени надо датчикам для восстановления. Измеренные величины не теряются из-за таких превышений. Они могут быть зарегистрированы на одном из носителей информации (внешнем принтере, памяти, переданы через RS 232).

При превышении диапазона измерения по одной из компонент в случае особой необходимости прибор позволяет продолжить измерение других анализируемых компонент (для этого следует включить насос не вынимая зонд), но точность измерения не гарантируется, а предприятие изготовитель не несет ответственности за выход датчиков из строя.

2.3 Контрольные вопросы

1. Где можно осуществлять измерения газоанализатором ДАГ-500?
2. Что необходимо сделать при установке зонда?
3. Как осуществляется включение прибора?
4. С чего начинается работа с прибором?
5. Какие условия необходимы для проведения автоматической самокалибровки газоанализатора ДАГ-500 по чистому воздуху?
6. Что происходит по окончании калибровки газоанализатора?
7. Как осуществляется выбор топлива на дисплее газоанализатора?
8. Что необходимо выполнить по окончании измерений?

9. Что можно сказать о электрохимических датчиках газоанализатора ДАГ-500.

10. Зарисуйте схему расположения зонда газоанализатора ДАГ-500 в газоходе котла

3 Работа с функциями прибора ДАГ-500

3.1 Общие положения

После окончания автоматической калибровки и выбора вида топлива прибор переходит в измерительное меню. Чтобы начать измерение необходимо нажать клавишу  включения насоса. При этом на дисплей выводится сообщение о работающем насосе «НАСОС» и начинается забор пробы с ниппеля «ГАЗ».

Если производится анализ выбросов топливных установок, то необходимо с помощью зонда забора газа в газоходе отыскать середину потока по максимальной температуре дымового газа и закрепить зонд. При диаметре заборного отверстия свыше 20 мм нужно дополнительно уплотнить место отбора пробы во избежание искажения результата измерения. При работе с газоанализатором, укомплектованным зондом типа «В», необходимо учесть, что нажатие на курок, открывающий щель ввода фильтровальной бумаги, приводит к искажению результатов измерения из-за подсоса воздуха. Поэтому при измерениях отходящих газов не допускается давление на курок зонда при его установке.

Если производится анализ газов, находящихся под давлением (например, в баллоне или технологической магистрали химического производства), то необходимо обеспечить поступление газа в прибор без избыточного давления. Отверстие для отходящего газа на дне футляра прибора должно оставаться открытым. По этой причине прибор должен находиться на твердой поверхности или навесу.

3.2 Ход работы

Измерительное меню. Измерение происходит автоматически и непрерывно. Чтобы гарантировать точные показания, время замера должно быть не менее трех минут. Остановка насоса производится той же клавишей что и включение, при этом опрос датчиков прекращается, а результат измерения фиксируется на дисплее. Зафиксированный результат может использоваться, например, для получения нескольких одинаковых протоколов. Повторное нажатие клавиши  приводит к возобновлению забора пробы и непрерывного вывода результата измерения.

Ввиду ограниченного объема информации, которая может выводиться на дисплей, результаты измерения располагаются на двух окнах (рисунок 3.1), которые переключаются клавишей . В любое время измеренные величины можно зарегистрировать на внешнем принтере, памяти или передать через интерфейс RS232, нажав клавишу . В измерительном меню активный регистратор отображается в третьей строке справа: **П123**-память; **ПРНТ** - внешний принтер; **ИНТФ** -интерфейс RS232.

Tg	25 C	O2	20.9 %
CO	0 p	NO	0 p
NO2	0 p	SO2	0 p
СТОП		ПРНТ	
CO2	0.0%	NOx	0 p
Alf	----	qA	---
- Ti	25 C	Ta	24 C
НАСОС		П 123	

Рисунок 3.1 - Изображение результатов измерения на дисплее газоанализатора ДАГ-500

Если в качестве устройства для регистрации выбрана память, то на дисплей в измерительном меню выводится количество записанных ячеек памяти, то есть номер последнего блока сообщений (**П 0** - память пуста, **П200** - память полностью заполнена).

Для использования дополнительных возможностей прибора или модификации измеряемых величин нужно перейти в функциональное меню, нажав клавишу . Возврат из функционального меню или любого подменю - та же клавиша.

Если прибор не укомплектован всеми датчиками, то на дисплей вместо результата замера напротив отсутствующего датчика выводится “---”. В случае превышения диапазона измерения напротив соответствующего датчика выводится «*** **ПЕРЕГ.**», а если показания данного датчика необходимы для расчета других величин или если в результате калибровки прибор обнаружил неисправный датчик, то для того чтобы избежать некорректных измерений, на дисплей в соответствующей строке выводится сообщение об ошибке «*****НЕИСП.**».

При недостаточной освещенности нажатие на клавишу  вызывает включение подсветки дисплея, повторное нажатие этой клавиши приводит к выключению подсветки (прибор комплектуется подсветкой дисплея по отдельному заказу). Следует учесть, что включение подсветки дисплея значительно сокращает время работы от аккумулятора.

При работе от аккумулятора, если его напряжение становится ниже **5.7 В**, прибор предупреждает о его разрядке миганием на дисплее сообщения «**ЗАРЯДИТЕ БАТАРЕЮ**». Прибор еще будет работать около 20 минут. Необходимо или подключить сетевой блок питания или заканчивать измерения в течении 10-20 минут.

Появление сообщения «**ПЕРЕОХЛАЖДЕНИЕ ПРИБОРА**» или «**ПЕРЕГРЕВ ПРИБОРА**» предупреждает о нарушении температурного диапазона работы прибора. Недопустимый перегиб или нарушение

проходимости газового тракта, неисправность насоса неисправность насоса приводит к появлению сообщения «НИЗКИЙ ПОТОК».

В процессе работы с прибором при высоких концентрациях и измерительных циклах больше 30 минут следует провести новую калибровку. Рекомендуется продуть датчики в течении 10-15 мин свежим воздухом. Тем самым предотвращается дрейф датчиков. После этого необходимо провести калибровку (выключив и заново включить прибор).

Функциональное меню. Функциональное меню служит для изменения режима работы прибора и выбора способа обработки результата измерений. Функциональное меню многооконное, многооконными являются и некоторые подменю (рисунок 3.2).

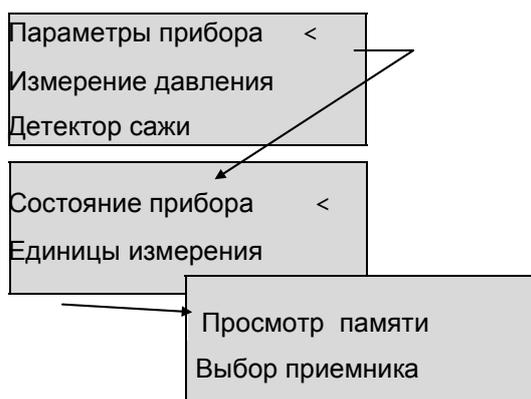


Рисунок 3.2 - Функциональное меню газоанализатора ДАГ-500

Выбор требуемой функции осуществляется клавишами   и (выбранная функция отмечается знаком «<>»), а  подтверждение выбора клавишей. Для перехода в функциональное меню и выхода из него без внесения изменений служит клавиша .

3.3 Контрольные вопросы

1. Какую клавишу нужно нажать, чтобы начать измерение?
2. Когда прибор (газоанализатор ДАГ-500) переходит в измерительное

меню?

3. Что необходимо сделать если диаметр заборного отверстия свыше 20 мм?

4. Как производится анализ газов, находящихся под давлением?

5. Какие виды меню есть у газоанализатора ДАГ-500?

6. Почему газоанализатор ДАГ-500 при выполнении измерений должен находиться на твердой поверхности или навесу?

7. Если в качестве устройства для регистрации выбрана память, то что выводится на дисплей в измерительном меню?

8. Для использования дополнительных возможностей прибора или модификации измеряемых величин в какое меню нужно перейти?

9. Для чего необходимо функциональное меню?

10. Что нужно сделать если прибор работает при высоких концентрациях загрязняющих веществ?

4 Измерение давления и коррекция значения T_i

4.1 Общие положения

Для измерения давления прибор оснащен полупроводниковым датчиком с диапазоном измерения ± 50 hPa и разрешающей способностью 0,01 hPa. Значение температуры воздуха, поступающего на горение (T_i), необходимо для расчета величины потерь с уходящими газами (q_2). Одновременное измерение температуры и концентраций газовых компонент уходящих газов с измерением температуры воздуха, поступающего на горение, сложно произвести из-за большого расстояния точек измерения. Поэтому измерение T_i производится отдельно.

4.2 Ход работы

Для вызова функции измерения давления из измерительного меню необходимо нажать клавишу , перевести указатель «<>» клавишами   на надпись «Измерение давления» и нажать .

В момент вызова данной функции при этом автоматически отключается насос и производит «Калибровка нуля датчика давления» на входе «hPA» газоанализатора и дальнейшее изменение давления выводится на дисплей. Для измерения давления существует два пути:

- когда зонд находится в газовом канале, а шланг подключен к ниппелю «Газ», вызывают функцию измерения давления и после калибровки на ноль подключают к ниппелю «hPA». В этом случае давлению будет соответствовать положительная, а разряжению отрицательная величина;

- если подключить шланг зонда к ниппелю «hPA», когда зонд находится в газовом канале, вызывают функцию измерения давления и после калибровки на ноль вынуть зонд из газового канала или отключить шланг от ниппеля «hPA», то давлению будет соответствовать отрицательная, а разряжению положительная величина.

Результат может быть зарегистрирован нажатием клавиши . Остановка вывода на дисплей клавишей , аналогична основному измерительному меню.

Клавиша - возврат в основное меню. После перехода в измерительное меню необходимо включить насос и после перестановки газового шланга с ниппеля «hPA» на ниппель «Газ» прибор готов для дальнейших измерений газового состава. На датчики во время измерения давления не поступает газ. Таким образом после переключения потребуется некоторое время для достижения заданной точности измерения.

Начальное значение T_i получает после калибровки. Если это значение не соответствует температуре воздуха, поступающего на горение топливной установки, то можно изменить T_i , выбрав в основном функциональном меню

«Коррекция T_i » одну из следующих функций:

- установка $T_i = T_g$ - величине T_i приравнивается текущее значение T_g ;
- ручная коррекция - величину T_i можно ввести с клавиатуры с помощью клавиш   и последовательно для каждой цифры, подтверждая значение клавишей;
- измерение T_i - необходимо ввести зонд в воздуховод, дождаться стабилизации температуры и подтвердить значение клавишей  .

4.3 Контрольные вопросы

1. Чем оснащен прибор для измерения давления?
2. Поступает ли газ на датчики во время измерения давления?
3. Для чего необходимо значение температуры воздуха, поступающего на горение?
4. Как получают начальное значение T_i ?
5. Какие функции можно выбрать в основном функциональном меню «Коррекция T_i » для изменения T_i ?

5 Выбор вида топлива

5.1 Общие положения

После окончания процесса калибровки прибор переходит в меню выбора вида топлива с 10 стандартными и 2 свободнопрограммируемыми видами топлива. Выбор вида топлива отвечает за правильный расчет величины CO_2 и q_A на остальные величины влияния не оказывает. Если пользователя не устраивают характеристики стандартных видов топлива, то он может их изменить или запрограммировать один из свободно-программируемых видов топлива

5.2 Ход работы

Выбор осуществляется клавишами  , а подтверждается клавишей . Выбранное топливо отмечается знаком «<>». После выбора вида топлива прибор переходит в меню «Параметры прибора». Используемые в приборе стандартные виды топлива и их характеристики представлены в таблице 5.1. В таблице 5.2 приведены характеристики запрограммированных топлив, зависящих от температуры продуктов сгорания.

Таблица 5.1 - Основные характеристики стандартных видов топлива

Топливо	CO ₂ max, %	В	Tmax, °C	P, ккал/м ³	O ₂ ref %
Природный газ	11.8	0.81	2010	1000	3
Сжиженный газ	14.0	0.85	2080	1000	3
Нефтепромыслов. газ	13.0	0.84	2050	1000	3
Доменный газ	24.2	0.98	1470	620	3
Дизельное топливо	15.6	0.87	2098	975	3
Мазут	16.3	0.88	2115	965	3
Антрацит	20.2	0.95	2160	915	3
Каменный уголь	18.7	0.89	2050	940	3
Дрова	20.5	0.75	1610	875	3
Торф	19.5	0.86	1970	930	3

CO₂ max – теоретическое максимальное содержание CO₂.

В – соотношение объемов влажных и сухих продуктов сгорания.

Tmax – жаропроизводительность топлива, с учетом содержания в воздухе влаги;

P – количество теплоты, выделяемое при полном сжигании при $\alpha=1$, отнесенное к 1 м³ сухих продуктов сгорания;

В – соотношение объемов влажных и сухих продуктов сгорания;

O₂ref – стандарт O₂ для мг/м³.

Таблица 5.2 - Характеристики запрограммированных видов топлива, зависящих от температуры продуктов сгорания

T _g , °C	Для видов топлив из таблицы 5.1 кроме доменного газа, дров и торфа		Доменный газ, дрова и торф	
	C ⁱ	К	C'	К
100	0.82	0.77	0.83	0.79
200	0.83	0.78	0.84	0.79
300	0.84	0.79	0.86	0.80
400	0.86	0.80	0.87	0.81
500	0.87	0.81	0.88	0.82
600	0.88	0.82	0.90	0.83
700	0.89	0.83	0.91	0.84
800	0.90	0.83	0.92	0.85
900	0.91	0.84	0.93	0.86
1000	0.92	0.85	0.94	0.87

Cⁱ- отношение теплоемкостей продуктов полного сгорания при α=1 в интервале температур от 0 °C до T_i к их теплоемкости в интервале температур от 0 °C до T_{max};

К - отношение объемной теплоемкости воздуха в интервале температур от 0 °C до T_i к объемной теплоемкости продуктов сгорания при α=1 в интервале температур от 0 °C до T_{max}.

Для того, чтобы изменить параметры топлива, необходимо выбрать **«Уст.топлив.коэфф.»** в меню **«Параметры прибора»**. На дисплей выводится выбранный вид топлива и последовательно все параметры этого вида топлива (смотри п.п. 5.3.3). Причем параметры вводятся в соответствии со множителями: CO_{2max} (%), В, C' и К • **1000**; T' max, Р и O₂ ref • **1**. Установка осуществляется клавишами   и , а подтверждается клавишей  последовательно для каждого параметра и вводимой цифры.

Коэффициенты C' и К задаются для температуры уходящего газа 200 °C и автоматически вычисляются в зависимости от измеренной величины T_g.

5.3 Контрольные вопросы

1. Для чего необходимо выбрать вид топлива?
2. Сколько видов топлива заложено в меню газоанализатора ДАГ-500?
3. Перечислите основные стандартные виды топлива.
4. Приведены характеристики запрограммированных топлив, зависящих от температуры продуктов сгорания.
5. Что необходимо сделать для того, чтобы изменить параметры топлива?

6 Определение содержания CO₂ и NO_x

6.1 Общие положения

На практике невозможно обеспечить идеальный режим сгорания топлива, поэтому топливные установки всегда работают с избыточным количеством воздуха. Отношение действительного количества воздуха к теоретически необходимому называют избытком воздуха. Избыток воздуха должен быть минимальным, но должно обеспечиваться полное сгорание топлива.

6.2 Ход работы

Избыток воздуха рассчитывается следующим образом:

$$Alf = N_2 / [N_2 - 3,76 \cdot (O_2 - 0,5 \cdot CO)] \quad (6.1)$$

где O₂, CO - измеренное значение компонентов в процентах;

N₂ - содержание азота в отходящих газах.

$$N_2 = 100 - RO_2 - O_2 - CO \quad (6.2)$$

Расчет избытка воздуха начинается в случае если величина O_2 меньше 19 %. Если расчет избытка воздуха не ведется, тогда на дисплей вместо значения выводится “---”.

Содержание CO_2 в отходящих газах зависит от доли углерода и водорода в топливе. Чтобы добиться меньших потерь у топливной установки, должно быть по возможности большее содержание CO_2 в отходящих газах. Прибор ДАГ-500 непосредственного измерения CO_2 не производит, а вычисляет, исходя из содержания кислорода и угарного газа по характеристике $CO_2 \text{ max}$ – теоретическое максимальное содержание углекислого газа при стехиометрическом горении топлива. Содержание CO_2 рассчитывается следующим образом:

$$CO_2 = CO_2 \text{ макс.топ.} \cdot (100 - 4,76 \cdot (O_{2\text{изм.}} - 0,4 \cdot CO_{\text{изм.}})) / 100 - CO_{\text{изм.}} \quad (6.3)$$

В энергосистемах всегда стремятся как можно больше использовать освобождающееся при сгорании тепло и возможно уменьшить его потери. Существует следующие виды потерь.

Потери освобождающегося тепла происходят вследствие разницы между поступающей в топку температурой смеси топлива с воздухом и отходящими газами. Чем больше избыток воздуха и, следовательно, объем отходящих дымовых газов и чем выше температура отходящих газов, тем выше потери тепла. Прибор ДАГ-500 производит расчет по методике М. Б. Равича в соответствии с формулой:

$$q_2 = (T_g - T_i) [C^i + (h-1) \cdot V \cdot K] \cdot 100 / T_{\text{max}} \quad (6.4)$$

$$h = CO_{2\text{max}} / (CO_2 + CO) \quad (6.5)$$

где $CO_{2\max}$ - теоретическое максимальное содержание CO_2 ;

T_{\max} - жаропроизводительность топлива;

C^i - отношение теплоемкостей продуктов полного сгорания;

K - отношение объемной теплоемкости воздуха и продуктов сгорания;

B - соотношение объемов влажных и сухих продуктов сгорания;

T_g - измеренная температура уходящих газов;

T_i - температура поступающего в топку воздуха.

C^i и K зависят от температуры уходящих газов и находятся табличным способом для стандартных видов топлива или вычисляются для свободнопрограммируемых видов топлива исходя из значений C^i и K при 200 °С, которые вводятся при установке топливных коэффициентов.

Потери тепла, связанные с химической неполнотой сгорания топлива (q_3), обусловленные содержанием в продуктах сгорания горючих компонентов (оксида углерода). Прибор производит расчет по формуле:

$$q_3 = (30,2 \cdot CO \cdot 100 \cdot h) / P \quad (6.6)$$

где CO - содержание оксида углерода в уходящих газах в объемных процентах;

P - количество теплоты, выделяемое при полном сжигании 1 м^3 сухих продуктов сгорания.

Общие потери тепла (q_A) рассчитываются как сумма предыдущих потерь:

$$q_A = q_{2n} + q_3 \quad (6.7)$$

Потери вследствие теплоизлучения (величина потери вследствие теплоизлучения зависит от конструкции и изоляции котла и составляет от 0.5 % до 4 %) и механической неполноты сгорания топлива (провал топлива

сквозь колосниковые решетки, содержания топлива в золе и шлаках, унос топлива с уходящими газами) не учитываются прибором и могут быть учтены по значениям, указанным в документации на котел. Чтобы определить общие потери установки, эти потери должны быть просуммированы с общими потерями q_4 , рассчитанные прибором. Потери из-за механической неполноты сгорания топлива можно приближенно оценить по таблице 6.1.

Таблица 6.1 - Потери из-за механической неполноты сгорания топлива

Вид топки	Топливо	Потери от мех. неполноты сгорания q_4 %
Пылеугольные топки	бурые угли	0.5 – 1.0
	каменные угли с выходом летучих более 25 %	1.5 – 2.5
	каменные угли с выходом летучих менее 25 %	2 – 3
	полуантрацит	3 – 5
	антрацит	4 – 5
Шахтно-мельничные топки	фрезерный торф, бурые угли и сланец	1 – 2
	каменные угли с выходом летучих более 30 %	4 – 6
Слоевые топки	торф кусковой	2
	сланцы	3
	бурые угли с умеренной зольностью	5 – 7
	каменные угли	5 – 7
	антрацит сортированный	7
	бурые угли высокозольные	9 – 11
	антрацит несортированный	14 – 18

Расчет потерь начинается в случае, если величина CO_2 больше 1,0 % и разность между температурой газа и температурой воздуха больше 20 °С. Если расчет потерь не ведется, то на дисплей вместо значений выводится “____”.

На NO приходится 95-98 % всех окислов азота в точке отбора. NO соединяется с O_2 , обычно вне дымовой трубы. Если в газоанализаторе ДАГ-

500 установлены датчики NO и NO₂, тогда NO_x рассчитывается по формуле $NO_x = NO + NO_2$, если установлен только датчик NO, то доля NO₂ рассчитывается $NO_2 = NO \cdot 0,05$.

NO_x рассчитывается в зависимости от единицы измерения.

Примеры расчета приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 - Примеры расчета NO_x в зависимости от единицы измерения

Единицы измерения	Без пересчета NO _x к NO ₂	С пересчетом NO _x к NO ₂
ppm	NO + NO ₂	-
mg	NO • 1,34 + NO ₂ • 2,053	(NO + NO ₂) • 2,053
mg К O ₂ ref	(20,9-O ₂ B) / (20,9-O ₂ M) • (NO • 1,34 + NO ₂ • 2,053)	(20,9-O ₂ B) / (20,9-O ₂ M) • (NO + NO ₂) • 2,053

Для пересчета объемных величин (ppm) в весовые (mg - миллиграмм/нормальный кубометр при температуре газа 0°C и нормальном атмосферном давлении) используются следующие коэффициенты пересчета:

- CO – 1,256 mg/ppm;
- NO – 1,34 mg/ppm;
- NO₂ - 2,053 mg/ppm;
- SO₂ - 2,926 mg/ppm.

Согласно многим нормативным документам, результат измерений должен быть представлен в mg/Nm³ соотнесенных с определенным % кислорода, для предотвращающим занижение выбросов за счет увеличения избытка воздуха. Поэтому величины измерения должны быть пересчитаны по формуле:

$$EB = (20,9 - O_2B) / (20,9 - O_2M) \cdot EM \quad (6.8)$$

где EM - измеренная эмиссия;

EB - эмиссия, соотнесенная с содержанием кислорода;

O_2M - измеренное содержание кислорода %;

O_2B -эталонное содержание кислорода %.

Газоанализатор автоматически пересчитывает измеряемые величины с учетом концентрации кислорода, если выбран режим пересчета mg к O_{2ref} .

6.3 Контрольные вопросы

1. Как рассчитывается избыток воздуха?
2. От чего зависит содержание CO_2 в отходящих газах?
3. Как рассчитывается содержание CO_2 ?
4. Приведите формулу расчета потери тепла, связанные с химической неполнотой сгорания топлива.
5. От чего зависит величина потери вследствие теплоизлучения?
6. Приведите значения потерь из-за механической неполноты сгорания топлива для различных видов топлив.
7. Приведите примеры расчета NO_x в зависимости от единицы измерения.

Список использованных источников

1. Руководство по эксплуатации ГА 500.100 РЭ / ООО «Дитангаз», [б.м] 1999. – 27 с.
2. Об охране атмосферного воздуха: Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ (ред. от 13.07.2015). Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22971/
3. ГОСТ 17.2.4.02-81. Охрана природы. Атмосфера. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ. - Введ. 21.01.03. - М.: Изд-во стандартов, 2003 - 38 с.
4. Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10.01.2002 №7-ФЗ. Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/
5. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1338-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. (с изменениями от 3 ноября 2005 г., 4 февраля 2008 г.) Режим доступа: http://www.infosait.ru/norma_doc/42/42030/index.htm

Приложение А

(обязательное)

Таблица А.1 – Метрологические характеристики

Объект измерения	Принцип измерения	Диапазон измерения	Предел допустимой основной погрешности
O ₂ кислород	электрохимический сенсор	0...20.9 об.%	± 0.2 об.%
CO ₂ углекислый газ	расчет	0...21 об.%	± 0.5 об.%
CO угарный газ	электрохимический сенсор	0 - 2000 ppm	0 — 400 ppm ± 20 ppm; 400 — 2000 ppm ± 5 %.
SO ₂ сернистый газ	* электрохимический сенсор	0 - 2000 ppm	0 — 400 ppm ± 40 ppm; 400 — 2000 ppm ± 10 %.
NO окись азота	электрохимический сенсор	0 – 500 ppm	0 — 100 ppm ± 10 ppm; 100 — 500 ppm ± 10 %.
NO ₂ двуокись азота	электрохимический сенсор	0 - 100 ppm	0 — 20 ppm ± 3 ppm; 20 — 100 ppm ± 15 %.
T _a температура воздуха	полупроводников. сенсор	от минус 20 °C до 60 °C	± 2 °C.
T _g температура газа	термоэлемент ХА (К)	от минус 20 °C до 800 °C	± 3 °C (- 20... 300 °C); ± 1 % (300...800 °C).
P давление/разряжение	полупроводниковый сенсор	± 50 hPa	± 0.2 hPa (-4...4 hPa); ± 5% (-4...-50 hPa),(4...50 hPa).
Alf избыток воздуха	расчет	1.0...9.9	± 2 %
qA потери тепла	расчет	0...99.9 %	± 2 %
содержание сажи	сравнительная шкала (метод сравнения со шкалой Бахараха)	DIN 51402	

Таблица А.2 – Технические характеристики

Основные стандарты и технические условия, распространяющиеся на газоанализатор	ГОСТ 13320-81, ГОСТ Р 50759-95, ГА 500.100 ТУ.
Средний срок службы газоанализаторов	не менее 8 лет.
Индикация	жидкокристаллический дисплей 4 строки по 20 символов с подсветкой.
Емкость запоминающее устройство	для всех величин измерения, емкость - 200 измерений.
Интерфейс	RS-232.
Часы	часы реального времени с календарем.
Калибровка	200 секунд на O ₂ -20,9 %, CO-SO ₂ -NO-NO ₂ =0 ppm на свежий воздух.
Автотест	функций прибора и параметров датчиков, заряда аккумулятора и индикацией на дисплей.
Сервис-контроль, межповерочный интервал	после года эксплуатации.
Электропитание:	сеть - 220V/50Hz через выносной источник 12V - 500 mA, автономное - от встроенного аккумулятора 6 В, 1.2 Ач.
Время зарядки аккумулятора:	не более 14 часов, с защитой от перезарядки.
Время автономной работы:	не менее 5 часов (без подсветки), с контролем разряда.
Температура эксплуатации °С	+10...+40.
Температура хранения °С	-20...+50.
Зонд забора газа	зонд длиной 300.1500 мм с теплоизолирующей ручкой, встроенным термопарой типа К(ХА) и опорным конусом.
Размеры прибора	220 x 110 x 70 мм.
Вес прибора	1.3 кг.
Размеры футляра	390 x 150 x 150 мм.
Полная масса комплекта	5.0 кг.