

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СИГНАЛИЗАТОР КОНЦЕНТРАЦИИ АММИАКА В ВОЗДУХЕ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ И ЭЛЕКТРОННЫЙ КОММУТАТОР КАНАЛОВ

Н.П. Воробьев, И.В. Недилько

Выявлены ограничения на применение разработанного метода ультразвукового контроля и области его применения. Даны рекомендации по реализации разработанного метода ультразвукового контроля. Произведена разработка структурной схемы электронного коммутатора измерительных каналов к ультразвуковому сигнализатору концентрации аммиака в воздухе помещений для животных.

Confinements on the employment of the developed method of infrasonic verification and the areas of it employment are detected. Authors gave recommendations to the implementation of the developed method of infrasonic verification. Article presents the development of the structural scheme of the electronic interchanger of measuring conduits to the infrasonic annunciator of the concentration of ammine in the air of insertings for bestial.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СИГНАЛИЗАТОРА КОНЦЕНТРАЦИИ АММИАКА

Применяемые на предприятиях агропромышленного комплекса методы и средства контроля концентрации аммиака в воздухе животноводческих помещений не обеспечивают надлежащий уровень производственной и экологической безопасности [1]. С целью преодоления этого недостатка нами произведена разработка ультразвукового сигнализатора концентрации аммиака (УСКА) с электронным коммутатором измерительных каналов (автоматического сигнализатора концентрации аммиака АСКА-16).

Прибор УСКА предназначен для автоматического переключения измерительных каналов и сигнализации о предельно допустимой концентрации (ПДК) аммиака в воздухе животноводческих помещений. Прибор работает совместно с автоматическим сигнализатором концентрации аммиака АСКА-16, обеспечивающим контроль предельно допустимых концентраций аммиака в 16 точках помещения. УСКА, АСК-16 и комплект пьезоэлектрических преобразователей в совокупности образуют автоматизированную систему контроля концентрации аммиака.

Комбинация различных методов (например, синхрокольцевого и импульсного) при разработке косвенных способов измерения скорости ультразвука позволяет упростить их реализацию. Проблемными остаются вопросы повышения точности, быстродействия и расширения диапазона расширения. Этой задаче отвечает разработанный нами способ

определения скорости ультразвука [2], положенный в основу приборов УСКА и АСКА-16.

Известные способы и устройства контроля концентрации аммиака на основе распространения скорости ультразвука [3-8] характеризуются пониженной точностью, малым быстродействием и ограниченным диапазоном измерений.

Блок-схема устройства, разработанного нами и решающего упомянутую проблему, приведена на рисунке 1 [1].

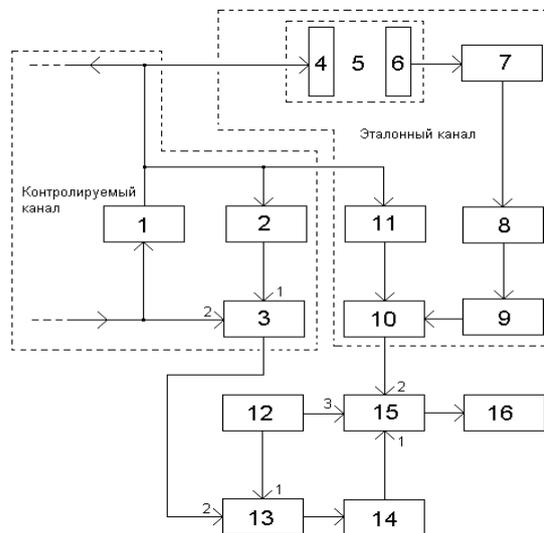


Рисунок 1 – Структурная схема устройства к способу определения скорости ультразвука

На рисунке 2 приведены временные диаграммы сигналов для входов: t_1 – для второго входа второго каскада 15 совпадений, t_2 – для третьего входа каскада 15 совпадений, t_3 – для первого входа второго каскада 15 совпа-

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1-2 2009

**УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СИГНАЛИЗАТОР КОНЦЕНТРАЦИИ АММИАКА В ВОЗДУХЕ
ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ И ЭЛЕКТРОННЫЙ КОММУТАТОР КАНАЛОВ**

дений, t_4 – для входа счетчика 16, t_5 – для входа делителя 14 частоты. Разрывы в изображении сигналов по диаграмме t_5 соответ-

ствуют времени паразитной задержки сигнала в синхрокольце. U – напряжение.

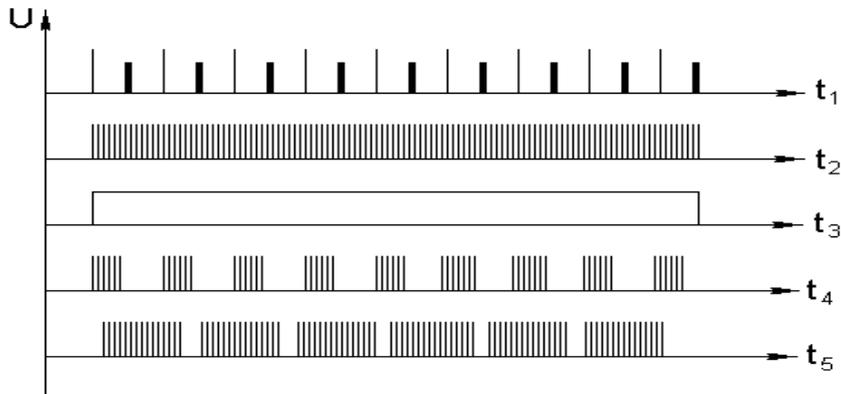


Рисунок 2 – Временные диаграммы сигналов для входов устройства по рис. 1

Устройство содержит контролируемый канал автоциркуляции электроакустических импульсов, часть которого представлена на рисунке 1 синхронизируемым генератором 1 импульсов, формирователем 2 контрольного интервала, а также содержит эталонный канал, в котором есть излучатель 3 колебаний, эталонная среда 4, приемник 5 колебаний, усилительно-формирующий блок 6, формирователь 7 эталонного интервала, а также содержит генератор 8 стабильных колебаний, каскад 9 совпадений, делитель 10 частоты, второй каскад 11 совпадений и счетчик 12 импульсов.

При работе устройства в контролируемом канале устанавливается режим автоциркуляции электроакустических импульсов. В эталонном канале при этом происходит импульсное формирование и распространение сигналов.

Период T_K автоциркуляции электроакустических импульсов в контролируемом канале равен

$$T_K = T_K'' + \Delta_K, \quad (1)$$

где T_K'' – время распространения акустического импульса в контролируемой среде, а Δ_K – паразитное время задержки в синхрокольце, равное

$$\Delta_K = \tau_{\text{Э}} + 2\tau_{\text{МК}} + \tau_{\text{ФК}}, \quad (2)$$

где $\tau_{\text{Э}}$ – время задержки прохождения электрического сигнала в генераторе импульсов, $2\tau_{\text{МК}}$ – время задержки сигнала в мембранах преобразователей контролируемого канала,

$\tau_{\text{ФК}}$ – время задержки сигнала в усилительно-формирующих цепях контролируемого канала.

Эталонный интервал T_H времени на выходе блока 10 в эталонном канале формируют согласно выражению

$$T_H = T_{\text{Э}}'' + \Delta_{\text{Э}} - \tau_{\text{Э}} - \Delta_{\text{ЗЭ}}, \quad (3)$$

где $T_{\text{Э}}''$ – время распространения акустического импульса в эталонной среде 5, $\Delta_{\text{ЗЭ}}$ – стабильное время задержки, равное

$$\Delta_{\text{ЗЭ}} = 2\tau_M + \tau_{\text{Ф}}, \quad (4)$$

где $2\tau_M$ – время задержки сигнала в мембранах преобразователей 3 и 5 эталонного канала, $\tau_{\text{Ф}}$ – время задержки сигнала в усилительно-формирующих цепях эталонного канала.

Паразитное время $\Delta_{\text{Э}}$ задержки в эталонном канале равно

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{Э}} &= \tau_{\text{Э}} + 2\tau_{\text{МК}} + \tau_{\text{Ф}} = \\ &= \tau_{\text{Э}} + \Delta_{\text{ЗЭ}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Фиксированный интервал $\Delta_{\text{ЗК}}$ времени в контролируемом канале (в блоке 2) определится соотношением

$$\Delta_{\text{ЗК}} = 2\tau_{\text{МК}} + \tau_{\text{ФК}}. \quad (6)$$

Контрольный интервал T_K' времени на выходе триггера 3 выразится в виде

$$T_K' = \tau_{\text{Э}} + \Delta_{\text{ЗК}} = \Delta_K. \quad (7)$$

При работе устройства импульсы с выхода генератора 12 поступают через каскад

13 совпадений на вход делителя 14 частоты, на выходе которого образуется стабильный интервал T_C времени

$$T_C = K_\delta T_0, \quad (8)$$

где K_δ – коэффициент деления делителя 14 частоты, T_0 – период появления импульсов с генератора 12.

Поступление импульсов с выхода триггера 3 на второй вход каскада 13 прекращает поступление импульсов с генератора 12 на вход делителя 14 на время T'_{KB} , равное

$$T'_{KB} = T'_K N'_X, \quad (8)$$

где N'_X – число импульсов автоциркуляции за измерительный интервал времени, а следовательно, увеличивает T_C на величину T'_{KB} .

Поступление импульсов с выхода триггера 10 на второй вход каскада 15 совпаденый прекращает поступление импульсов с выхода генератора 12 через каскад 15 совпадений за измерительный интервал времени на вход счетчика 16 импульсов на время $T_{C\delta}$, равное

$$T_{C\delta} = T_K - T_{II} N'_X, \quad (9)$$

а, следовательно, уменьшает T_C на величину $T_{C\delta}$.

Таким образом, выражение для дополнительного интервала T_δ времени имеет вид

$$\begin{aligned} T_\delta &= T'_{KB} - T_{C\delta} = \\ &= T'_K N'_X - T_K - T_{II} N'_X, \end{aligned} \quad (10)$$

а измерительный интервал T'_δ времени равен

$$\begin{aligned} T'_\delta &= T_C + T_\delta = K_\delta T_0 + \\ &+ N'_X T'_K + T_{II} - T_K. \end{aligned} \quad (11)$$

В выражение (11) входит неизвестная величина N'_X . Поэтому для N'_X запишем выражение, справедливость которого следует из того факта, что за интервал $T_C + T'_{KB}$ должно появиться N'_X интервалов длительностью T_K , то есть

$$N'_X = \frac{T_C + T'_{KB}}{T_K}. \quad (12)$$

После подстановки в выражение (12) соответствующих значений для T_C , T'_{KB} , и T_K имеем

$$\begin{aligned} N'_X &= \frac{K_\delta T_0}{T'_K + \Delta_K} + \\ &+ \frac{\tau_\Delta + \Delta_{3K}}{T'_K + \Delta_K} N'_X. \end{aligned} \quad (13)$$

После соответствующих преобразований выражение (13) приводится к виду

$$N'_X = \frac{K_\delta T_0}{T'_K + \Delta_K - \tau_\Delta - \Delta_{3K}}. \quad (14)$$

Подстановка соотношения (14) в выражение (11) дает

$$\begin{aligned} T'_\delta &= K_\delta T_0 + \\ &+ \frac{K_\delta T_0 T'_K + T_{II} - T_K}{T'_K + \Delta_K - \tau_\Delta - \Delta_{3K}}. \end{aligned} \quad (15)$$

После соответствующих подстановок для T'_K , T_{II} и T_K и преобразований имеем

$$\begin{aligned} T'_\delta &= K_\delta T_0 \cdot 1 + \left(\frac{\tau_\Delta + \Delta_{3K} + T'_\Delta +}{T'_K + \Delta_K - \tau_\Delta - \Delta_{3K}} + \right. \\ &\left. + \frac{\Delta_\Delta - \tau_\Delta - \Delta_{3\Delta} - T'_K - \Delta_K}{T'_K + \Delta_K - \tau_\Delta - \Delta_{3K}} \right). \end{aligned} \quad (16)$$

Выражение (16) с учетом соотношений (4) и (6) приводится к виду

$$T'_\delta = K_\delta T_0 \frac{T''_\Delta}{T'_K}. \quad (17)$$

где T'_K – время распространения импульса в акустической среде контролируемого канала, T'_Δ – время распространения импульса в акустической среде эталонного канала.

Используя соотношение (17) и учитывая, что за интервал T'_δ времени на вход счетчика 5 поступит N''_X импульсов с периодом T_0 , имеем

$$N''_X = \frac{T'_\delta}{T_0} = K_\delta \frac{T''_\Delta}{T'_K}. \quad (18)$$

Следовательно, результат измерений с учетом того, что время распространения акустических колебаний в среде и скорость звука обратно пропорциональны, может быть записан в виде

$$N''_X = K_\delta \frac{C_K}{C_\Delta}. \quad (19)$$

где C_K – скорость ультразвука в контролируемом канале, C_Δ – скорость ультразвука в

**УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СИГНАЛИЗАТОР КОНЦЕНТРАЦИИ АММИАКА В ВОЗДУХЕ
ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ И ЭЛЕКТРОННЫЙ КОММУТАТОР КАНАЛОВ**

эталонном канале, K_δ – коэффициент деления делителя 10, и не зависит от паразитного времени задержки в эталонном и измерительном каналах с точностью, определяемой точностью компенсации упомянутого времени задержки в каждом из каналов в отдельности. При этом появляется возможность увеличить быстродействие, а, следовательно, дополнительно увеличить точность измерений за счет достаточно высокой частоты появления импульсов с генератора 12 (соответственно величины T_0) и величины K_δ . Указанное повышение точности и быстродействия ограничивается быстродействием счетчика импульсов.

Так, если принять $T_0 = 10^{-8}$ с, и учесть, что максимальное значение T_K'' , например, в газах, равно 10^{-4} с, то при $T_K'' = 10T_K''$ и $K_\delta = 10^8$ по предложенному способу (формула (19)) скорость ультразвука определяется семизначным числом, в то время как при тех же условиях для известного способа измерения число значащих цифр составляет только четыре.

Колесания с выхода генератора 12 с периодом T_0 являются своеобразным носителем информации для T_K'' и T_Δ'' , позволяя измерить T_K'' и T_Δ'' с точностью до T_0 , то есть дискретно. Вследствие чего погрешность дискретности определяется в основном величиной T_0 и с уменьшением последней пропорционально уменьшается. Более того, поскольку по предложенному способу в отличие, например, от работы [8], компенсируется постоянная составляющая Δ_K задержки сигнала в синхрокольце и постоянная составляющая Δ_Δ задержки сигнала импульсного измерителя (паразитное время задержки в генераторе, мембранах и усилительно-формирующих цепях соответственно контролируемого и эталонного каналов), то величина T_0 существенно определяет и эффективность действия упомянутого механизма компенсации, то есть уровень компенсации величин Δ_K и Δ_Δ , что видно из соотношения для N_X'' , которое на основании изложенного можно модифицировать следующим образом

$$\frac{K_\delta T_0 T_\Delta''}{T_0 T_K''} = \frac{K_\delta T_0 T_\Delta - \Delta_\Delta}{T_0 T_K - \Delta_K}. \quad (20)$$

Естественно, что при $T_0 > \Delta_K$ или $T_0 > \Delta_\Delta$ никакой компенсации величин Δ_K и Δ_Δ не будет. Для обеспечения эффективной компенсации Δ_K и Δ_Δ необходимо выполнение условий

$$T_0 \ll \Delta_K \text{ и } T_0 \ll \Delta_\Delta. \quad (21)$$

То есть для получения эффективной компенсации Δ_K и Δ_Δ необходимо, чтобы величина T_0 была на один, два и более порядков меньше величин Δ_K и Δ_Δ .

В этом смысле для обеспечения неизменной погрешности измерений согласно выражению (21) при постоянных Δ_K и Δ_Δ необходимо обеспечить стабильность величины T_0 , абсолютное значение которой характеризуется временем порядка сотых долей микросекунды, что проще всего осуществить применением отдельного стабильного генератора. Учитывая, что упомянутые значения T_0 на три, четыре и более порядков меньше характерных для газов и жидкостей величин Δ_K и Δ_Δ , необходимость получения T_0 с помощью отдельного стабильного генератора становится очевидной, так как умножение частоты автоциркуляций (по работе [8]) в 1000, 10000 и более раз для достижения той же погрешности дискретности технически осуществить значительно сложнее.

По работе [8] расширение диапазона измерений ведет к пропорциональному снижению их точности, чего не наблюдается в предложенном способе, основанном на использовании отдельного стабильного генератора. Более того, оговоренное в работе [8] пятикратное изменение скорости, как представляется, наложено именно по причине необходимости относительно широкодиапазонного умножения частоты автоциркуляций. Аналогичной проблемы при прочих равных условиях в предложенном способе нет.

Диапазон возможных значений T_K и T_Δ в предложенном способе как и в работе [8] определяется из условия

$$T_K \geq T_\Delta \quad (22)$$

и не должен нарушаться. Однако отношение величины T_K и T_{II} в рамках упомянутого отношения может быть практически любым (минимальное значение величины T_{II} определяется погрешностью дискретности – величиной T_0) и может превышать последнюю не более чем на порядок при $T_0 \approx \Delta_{\mathcal{E}}$, или же не превосходить нескольких значений $\Delta_{\mathcal{E}}$ при $T_0 \ll \Delta_{\mathcal{E}}$. Диапазон же измерений по работе [8] при соблюдении условия (22) ограничен на уровне порядка 5-ти и дальнейшее его расширение сопряжено со значительным аппаратным усложнением способа из-за необходимости использования широкодиапазонных умножителей частоты. Если же уточнить диапазон измеряемых отношений скоростей, то для предложенного способа и для способа по работе [8] можно записать модифицированное выражение (22) в виде

$$C_{\mathcal{E}} \geq C_K, \quad (23)$$

где C_K – скорость ультразвука в контролируемом канале, $C_{\mathcal{E}}$ – скорость ультразвука в эталонном канале.

Причем соотношение (23) имеет силу только при условии равенства акустических баз в контролируемой и эталонной среде. В силу чего упомянутое ограничение выражением (22) накладывается более компактно. Иных ограничений для предложенного способа в отличие от [8] можно не налагать, ибо они определяются фактическими условиями физической реализуемости измерений по синхрокольцевому и импульсному способу измерения скорости ультразвука. При нарушении соотношения (22) эффект температурных (мультипликативных) и временных (аддитивных) компенсаций погрешностей как для работы [8], так и для предложенного способа [2] не будет иметь места.

Относительная погрешность δ дискретизации при учете квантования сигналов в контролируемом и эталонном каналах по предложенному способу может быть определена в виде

$$\delta = \frac{2K_{\delta}T_0}{T_K} \left(\frac{T_0}{T_K} + \frac{T_0}{T_{\mathcal{E}}} \right) \cdot 100\%. \quad (24)$$

Полагая, что примерно выполняется условие $T_K'' = T_{\mathcal{E}}'' = T_K$, можно записать упрощенную формулу для определения δ

$$\delta = \frac{4K_{\delta}T_0}{T_K} \left(\frac{T_0}{T_K} \right) \cdot 100\%. \quad (25)$$

На основе соотношения (25) для газов имеем (таблица 1):

Таблица 1

$\delta, \%$	T_K	T_0	K_{δ}
4×10^{-3}	10^{-3}	10^{-8}	10^5
4×10^{-5}	10^{-3}	10^{-9}	10^5

Полагая, например, что $\frac{\Delta_K}{T_K''} = 0,01$ и

$\frac{\Delta_{\mathcal{E}}}{T_{\mathcal{E}}''} = 0,01$, можно ожидать наличие относи-

тельной погрешности измерений по работе [8] не менее 2% от существования паразитных задержек. К указанным процентам можно добавить еще 1-2% и более за счет погрешности широкодиапазонного умножителя частоты (при коэффициенте умножения 10^4 - 10^6 , если ставить способ [8] в равные условия с предложенным способом). В результате погрешность измерений по предложенному способу будет на два, три и более порядков меньше, чем по работе [8]. Вычисления показывают, что вычисления при этом характеризуются высоким быстродействием – сотни и тысячные доли процента. При этом не учитывается погрешность дискретности для способа [8], для которой по аналогии можно записать

$$\delta' = \frac{2m}{n} 100\%, \quad (26)$$

где m – коэффициент деления частоты автоциркуляции, n – коэффициент умножения частоты автоциркуляции.

Выражение (26) составлено с учетом, что квантование сигналов происходит только в одном канале. Полагая, например, что $m=10^4$, $n=10^5$, имеем: $\delta' = 20\%$, или, например, что $m=10^4$, $n=10^6$, имеем: $\delta' = 2\%$, что подтверждает и усиливает сделанные выше выводы относительно конкурентоспособности предложенного способа [2] по сравнению с [8].

**РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО
КОММУТАТОРА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
КАНАЛОВ К УЛЬТРАЗВУКОВОМУ
СИГНАЛИЗАТОРУ КОНЦЕНТРАЦИИ
АММИАКА**

Принцип действия прибора основан на использовании аналоговых коммутаторов с цифровым управлением для коммутации измерительных каналов пьезоэлектрических

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СИГНАЛИЗАТОР КОНЦЕНТРАЦИИ АММИАКА В ВОЗДУХЕ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ И ЭЛЕКТРОННЫЙ КОММУТАТОР КАНАЛОВ

преобразователей и сравнении данных, поступающих от измерительного прибора УСКА, с заданной установкой, с использованием цифровых четырехразрядных компараторов.

Структурная схема автоматического сигнализатора концентрации аммиака приведена на рисунке 3.

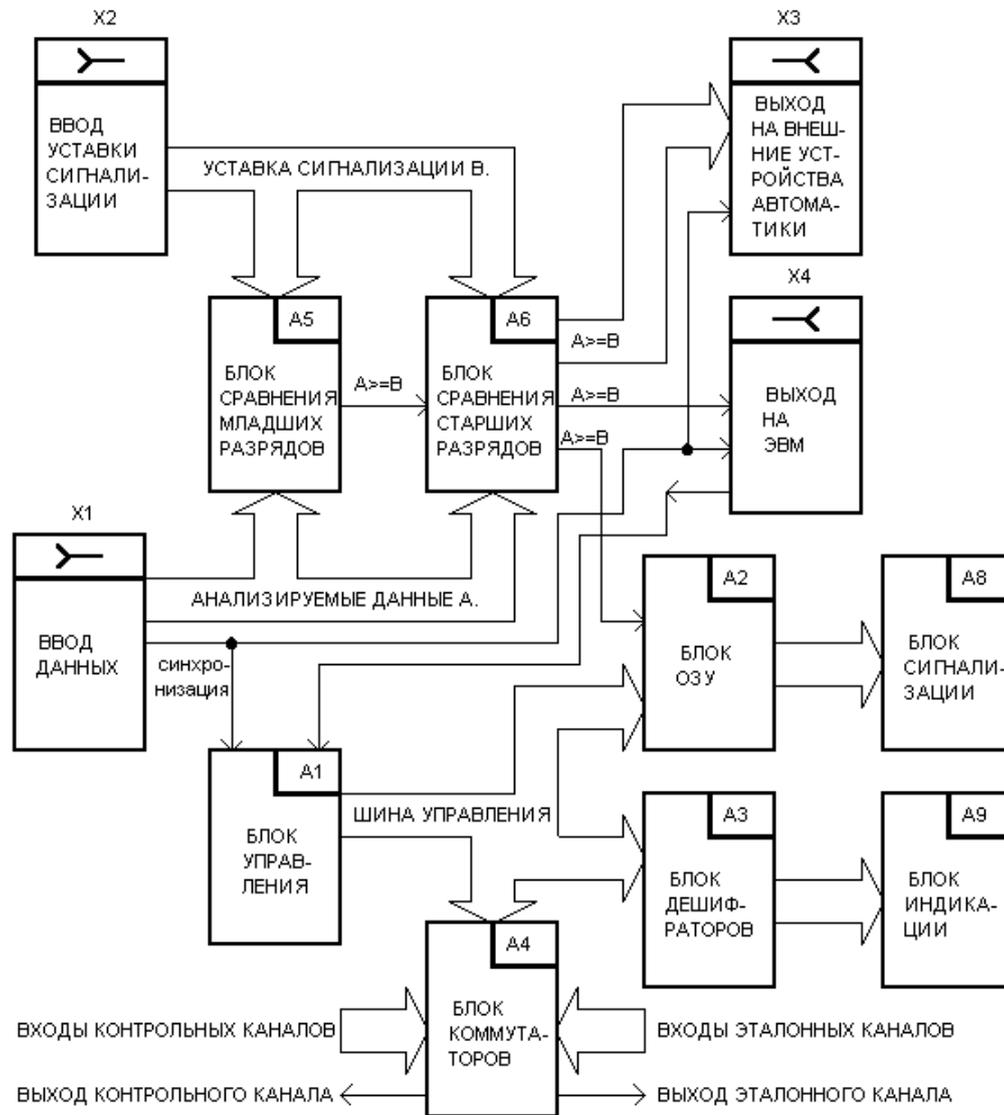


Рисунок 3 – Структурная схема автоматического сигнализатора концентрации аммиака

Блок управления А1 преобразует сигнал синхронизации прибора УСКА в двоичный четырехразрядный цифровой код шины управления, посредством которой он управляет блоком коммутаторов А4, блоком оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) А2 и блоком дешифраторов А3.

Блок коммутаторов А4 в соответствии с сигналами на шине управления коммутирует вход одного из эталонных и контрольных каналов пьезопреобразователей на соответ-

ствующие выходы, соединенные с измерительным прибором УСКА.

Блок ОЗУ А2 в соответствии с сигналами на шине управления подготавливает соответствующую ячейку памяти на прием информации от устройства сравнения.

Блок дешифраторов А3 преобразует двоичный четырехразрядный цифровой код шины управления в десятичное число для контроля номера подключенного к измери-

тельному прибору канала и передает сигналы на блок индикации А9.

На устройство сравнения (блоки А5 и А6) поступают анализируемые данные (А) от измерительного прибора УСКА и данные уставки сигнализации (В) в двадцатиразрядном двоично-десятичном коде.

В блоках А5 и А6 происходит сравнение данных А с уставкой В и при $A \geq B$ на выходе блока А6 появляется сигнал высокого логического уровня, подаваемый на вход блока ОЗУ А2, где происходит запись информации и пе-

редача соответствующего сигнала на блок сигнализации А8. В случае $A < B$ записи в ОЗУ не происходит.

В приборе предусмотрен выход на внешние устройства автоматики Х3 и на ЭВМ, Х4.

При использовании ЭВМ отпадает необходимость в блоках: ОЗУ (А2), сигнализации (А8), дешифрации (А3) и индикации (А9), которые реализуются на ЭВМ программно.

Диаграмма логических уровней основных узлов прибора представлена на рис. 4.

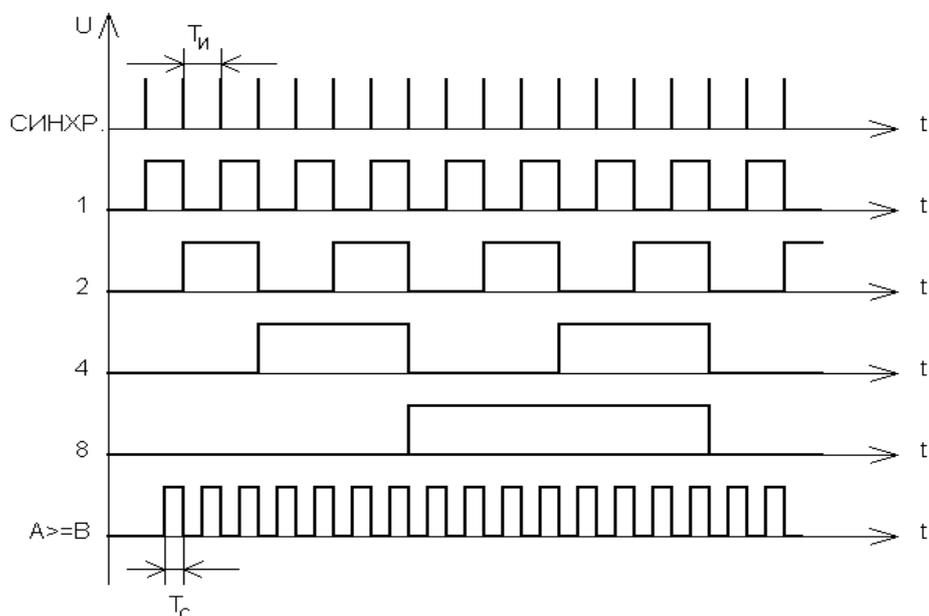


Рисунок 4 – Временная диаграмма логических уровней основных узлов автоматического сигнализатора концентрации аммиака: синхр. – сигнал синхронизации, поступающий от прибора УСКА; 1,2,4,8 – сигналы шины управления; $A \geq B$ – выходной сигнал устройства сравнения при данных, поступающих от прибора УСКА, превышающих уставку; $T_{и}$ – время измерений в одном канале; T_c – время приема и обработки синхронизируемых данных

Конструктивно электронные блоки прибора АСКА-16 выполнены в виде съемных печатных плат, устанавливаемых в дюралюминиевом корпусе размерами 560x185x190 мм. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц.

Мощность, потребляемая прибором, не превышает 10 ВА. Масса прибора – 7 кг.

ВЫВОДЫ

– показано, что применяемые на предприятиях агропромышленного комплекса методы и средства контроля концентрации аммиака в воздухе животноводческих помещений не обеспечивают надлежащий уровень

производственной и экологической безопасности;

– произведен анализ методов и средств относительного измерения скорости ультразвука, позволивший разработать оптимальный метод, пригодный для контроля аммиака в воздухе животноводческих помещений;

– произведен анализ разработанного метода ультразвукового контроля и сравнение его характеристик с другими методами ультразвукового контроля;

– выявлены ограничения на применение разработанного метода ультразвукового контроля и области его применения;

– даны рекомендации по аппаратурной реализации разработанного метода ультразвукового контроля;

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СИГНАЛИЗАТОР КОНЦЕНТРАЦИИ АММИАКА В ВОЗДУХЕ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ И ЭЛЕКТРОННЫЙ КОММУТАТОР КАНАЛОВ

– произведена разработка структурной схемы электронного коммутатора измерительных каналов к ультразвуковому сигнализатору концентрации аммиака в воздухе животноводческих помещений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев, Н. П. Применение микроЭВМ в схеме ультразвукового газосигнализатора концентрации аммиака в воздухе рабочей зоны предприятий АПК / В.П. Воробьев// Вестник Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова: приложение к журналу «Ползуновский Альманах». – Барнаул, 2003. – № 1. – С. 162-174.

2. А.с. 894551 СССР МКИ³ G 01 N 29/00. Способ определения скорости ультразвука / Воробьев Н.П.; заявитель и патентообладатель Алт. политехн. ин-т. - № 2788778/18-28; заявл. 02.07.79; опубл. 30.12.81, Бюл. № 48. – 4 с.: ил.

3. Носов, В. А. Проектирование ультразвуковой измерительной аппаратуры / В.А. Носов. – М.: Машиностроение, 1972. – 288 с.

4. Электрические измерения неэлектрических величин / А.М. Туричин и др. – Л.: Энергия, 1975. – 547 с.

5. Новицкий, П. В. Цифровые приборы с частотными датчиками / П.В. Новицкий, В.Г. Кнорринг, В.С. Гутников. – Л.: Энергия, 1970. – 424 с.

6. Бражников, Н. И. Ультразвуковые методы / Н.И. Бражников. - М., Л.: Энергия, 1965. – 252 с.

7. А.с. 571743 СССР МКИ³ G 01 N 29/00. Ультразвуковой анализатор сред / Воробьев Н.П., Ананьев Л.М., Морозов В.М., Янковский В.И.; заявитель и патентообладатель Алт. политехн. ин-т. - № 2356795/10; заявл. 03.05.76; опубл. 05.09.77, Бюл. № 33. 3 с.: ил.

8. А.с. 605163 СССР МКИ⁵ G 01 N 29/02. Способ ультразвукового контроля сред / Яковкин В.Н., Сивак Б.А. - № 240338/18-10; заявл. 18.11.76; опубл. в Б.И., 1978, № 16.