

УДК 621.446

Л. В. Кульшун¹, М. Г. Хламов¹, И. Я. Денищенко²

¹Донецкий национальный технический университет
83050, г. Донецк, пр. Богдана Хмельницкого, 84

² Государственное учреждение «Институт проблем искусственного интеллекта», г. Донецк
283048, г. Донецк, ул. Артема, дом 118 б

Исследование интеллектуальной системы измерения диоксида углерода, стенда испытания горноспасательной аппаратуры

L. V. Kulshun¹, M. G. Hlamov¹, I. Y. Denischenko²

¹Donetsk National Technical University
83050, c. Donetsk, Bogdana Khmel'nitskogo av 84.

² Public institution «Institute of Problems of Artificial intelligence», Donetsk
283048, Donetsk, Artema st., 118 b

Research of an Intelligent System for Measuring Carbon Dioxide, Test Bench for Mine Rescue Equipment

Л. В. Кульшун¹, М. Г. Хламов¹, І. Я. Денищенко²

¹Донецький національний технічний університет
83050, м. Донецьк, пр. Богдана Хмельницького, 84

² Державна установа «Інститут проблем штучного інтелекту», м. Донецьк
283048, м. Донецьк, вул. Артема, буд. 118 б

Дослідження інтелектуальної системи вимірювання діоксиду вуглецю, стенду випробування гірничорятувальної апаратури

Одним из основных направлений «Программы научно-технического развития Донецкой области на период до 2020 года» предусмотрено наращивание добычи угля на основе технического перевооружения угольных шахт и внедрения прогрессивной технологии. Работа в угольных шахтах остается сложным и опасным трудом. С ростом глубины разработок каменного угля увеличивается газоносность выработок, температура пластов и влажность пород, а также частота и интенсивность газодинамических проявлений, что ведет к повышению опасности при ведении горных работ. В таких условиях особое значение приобретает вопрос обеспечения шахтеров и горноспасательных служб средствами индивидуальной защиты и контроля, оперативного мониторинга состояния жизнедеятельности работников, встраиваемых в автономные изолирующие дыхательные аппараты.

Ключевые слова: структурная схема, прибор, концентрация, прототип, проектирование.

One of the main directions of "The Program of Donetsk region scientific and technical development for the period until 2020" provides for increasing coal production based on technical re-equipment of coal mines and introduction of advanced technology. Work in coal mines remains a difficult and dangerous one. As the coal mining depth increases, the gas content of workings, the temperature of seams and the moisture of rocks, as well as the frequency and intensity of gas-dynamic flows grow; this leads to increased danger of mining. In such conditions the problem of providing miners and mine-rescue services with personal protective and monitoring equipment embedded in autonomous insulating respirators for on-line monitoring health of workers acquires special importance.

Key words: block diagram, device, concentration, prototype, design.

Одним з основних напрямків «Програми науково-технічного розвитку Донецької області на період до 2020 року» передбачено нарощування видобутку вугілля на основі технічного переозброєння вугільних шахт і впровадження прогресивної технології. Робота в вугільних шахтах залишається складною і небезпечною справою. С ростом глибини розробок кам'яного вугілля збільшується газоносність виробок, температура пластів і вологість порід, а так само частота та інтенсивність газодинамічних проявів, що веде до підвищення небезпеки при веденні гірських робіт. В таких умовах особливого значення набувають питання забезпечення шахтарів і рятувальників служб засобами індивідуального захисту і контролю, оперативного моніторингу стану життєдіяльності працівників, вбудованих в автономні ізолюючі дихальні апарати.

Ключові слова: структурна схема, прилад, концентрація, прототип, проектування.

Справочная информация: В нашем регионе с хорошо развитой системой угольной промышленности, все более актуальна необходимость разработки оборудования индивидуальной защиты, в том числе и автономных изолирующих дыхательных аппаратов. Во время аварий на угольно добывающих предприятиях часто бывает так, что воздух, которым дышат шахтеры или спасатели, сильно загрязнён метаном, угольной пылью. В таких случаях как раз и стоит применять индивидуальные средства защиты. Разрабатываемый прибор должен контролировать параметры выдаваемого диоксида углерода и показывать их концентрацию и ритм дыхания на индикаторе отображения информации, помогая спасателям и работникам отслеживать текущее состояние человека.

Целью данной работы являются исследования и разработки интеллектуальной системы измерения диоксида углерода, стенда испытания горноспасательной аппаратуры, анализ и обзор методов и устройств контроля концентрации углекислого газа.

Материалы и методы: Целью разработки является отображение полученной информации измерения и интеграция новых технических элементов. Прибор предназначен для измерения концентрации диоксида углерода горноспасательного оборудования.

Прибор должен состоять из следующих частей:

- канал измерения оптической пробы – предназначенный для измерения концентрации диоксида углерода;
- мультиплексор аналоговых сигналов – предназначенный для поочередного подключения измерительных каналов ко входу цифровой части прибора;
- аналого-цифровой преобразователь;
- микропроцессорный блок – предназначенный для определения концентрации измеряемого вещества и вывода результата на индикацию.

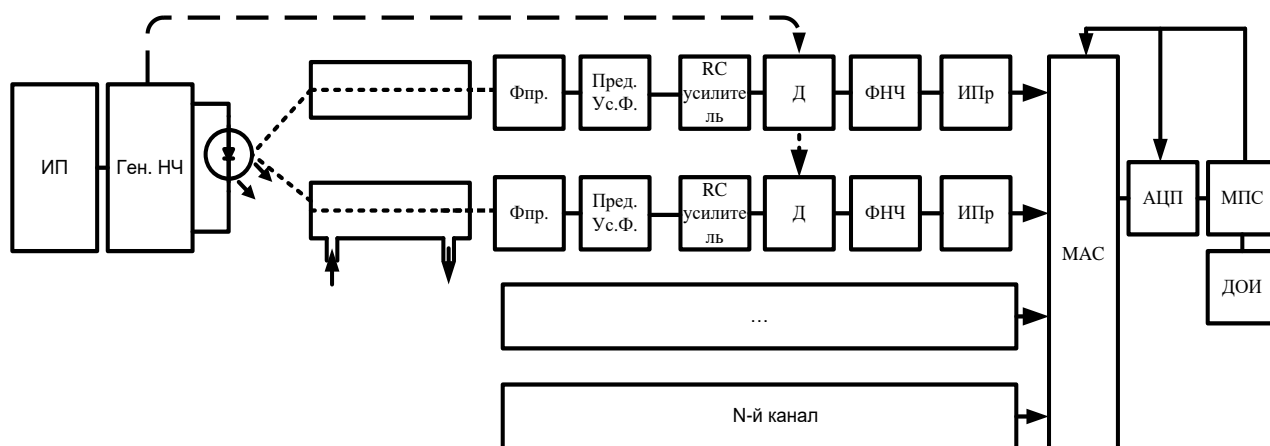


Рисунок 1 – Функциональная структурная схема прибора контроля диоксида углерода:

ИП – источник питания;

Ген. НЧ – используется для генерации синусоидальных сигналов;

☉ – источник излучения;

☒ – газовая кювета, рабочая и сравнительные кюветы;

ФПР. – устройство преобразования входных сигналов от первичных датчиков в унифицированные сигналы стандартных диапазонов;

РС Ус – для усиления полученных сигналов от НП (нормирующий преобразователь);

Пред.ус.ф. – предусилитель фототока;
 Д (детектор) – для преобразования модулированных колебаний несущей частоты в колебания с частотой модулирующего сигнала;
 Нпр. – нормирующий преобразователь;
 ФНЧ – используется для пропускания низкочастотных составляющих спектра проходящего через него сигнала и ослабляющее высокочастотные;
 МАС – мультиплексор;
 АЦП – для преобразования аналогового сигнала в цифровой;
 МПС – микроконтроллер;
 ДООИ – для отображения обработанных сигналов.

Результаты: Газовая среда представлена в виде трехкомпонентной смеси из азота, кислорода и углекислого газа и паров воды. Спектр поглощения углекислого газа, приведенный на рис. 2, представлен в широком диапазоне поглощения диоксида углерода в мкм [1].

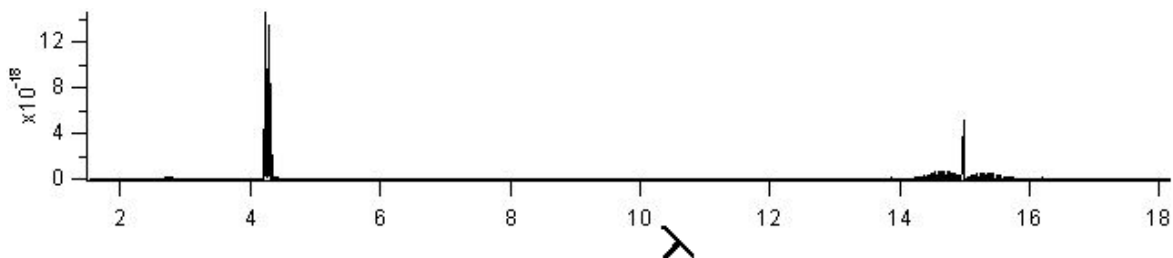


Рисунок 2 – Спектр поглощения углекислого газа

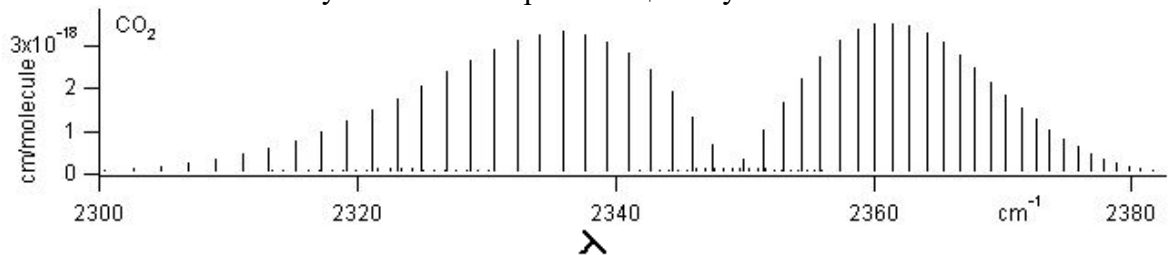


Рисунок 3 – Полоса поглощения CO₂ в районе 4,235 мкм. или 2350 см⁻¹

Коэффициент поглощения углекислого газа аппроксимируется моделью.

Каждая линия спектра описывается формулой (контур Лоренса)

$$K_j(\lambda) = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{a_j \cdot b_j}{(\lambda - \lambda_{0j})^2 + (b_j)^2}, \quad (1)$$

где $\frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} K_i(\nu) d\nu$ – интегральная интенсивность i -й линии; b_j – полуширина

линии; λ_{0j} – центр линии.

Коэффициент поглощения $K(\lambda)$ полосы выражается суммой коэффициентов поглощения отдельных линий. Полоса поглощения в районе 4,3 мкм (рис.3) описывается функцией:

$$K(\lambda) = \sum_{j=-n}^m \left[\frac{1}{\pi} \cdot \frac{a_j \cdot b_j}{(\lambda - \lambda_{0j})^2 + (b_j)^2} \right]. \quad (2)$$

Дискретный спектр аппроксимируется интегральным спектром поглощения, усреднением по каждой линии в виде соотношений:

$$K(\lambda) = aa \cdot (\Delta aPT)^3 \cdot \Delta a\lambda CO_2(\lambda) \cdot e^{-a\lambda CO_2(\lambda) \cdot \Delta aPT}, \quad (3)$$

где $a\lambda$ – интенсивность спектральной линии.

Газовоздушная среда представляется в виде структурного компонента – оптического канала с коэффициентом передачи T:

$$D(\lambda, C_{CO_2}) = 1 \cdot K_{CO_2}(\lambda) \cdot C_{CO_2}, \quad (4)$$

$$TT(\lambda, C_{CO_2}) = e^{-D(\lambda, C_{CO_2})}. \quad (5)$$

Спектральная характеристика оптического канала приведена на рис. 4

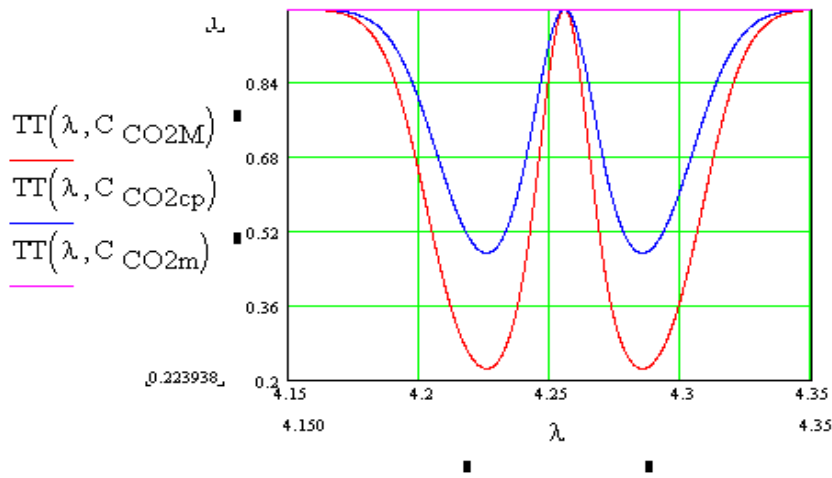


Рисунок 4 – График коэффициента пропускания ОК при различных концентрациях CO_2 :
 $D(\lambda, C_{CO_2})$ – оптическая плотность и $TT(\lambda, C_{CO_2})$ – коэффициент пропускания поглощающей среды

Спектральная плотность выходного потока ОК определяется

$$f_{\text{ВЫХ}} \text{ ОК}(\lambda, C_{CO_2}) = fu(\lambda) \cdot TT(\lambda, C_{CO_2}). \quad (6)$$

Спектральная плотность выходного потока ОК приведена на рис. 5

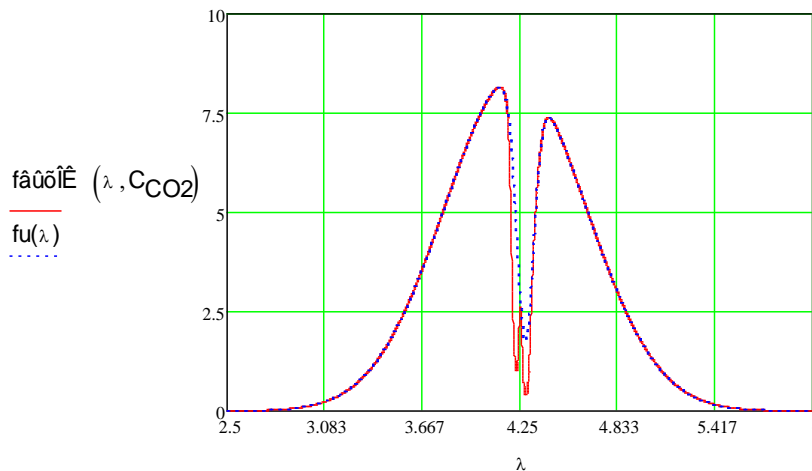


Рисунок 5 – График спектральной плотности выходного потока ОК

В процессе разработки устройства возникает потребность в определении погрешностей измерения и улучшения показателей проектируемого устройства, для этого применяют методы математического моделирования.

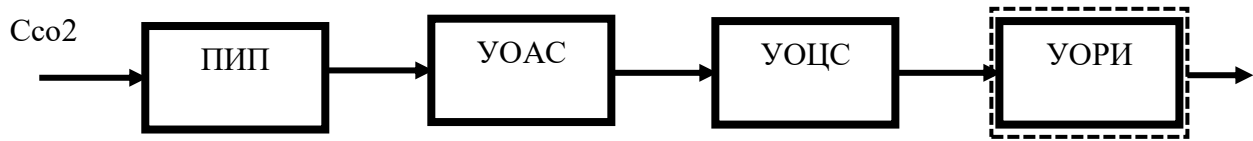


Рисунок 6 – Структурная модель разрабатываемого устройства контроля диоксида углерода:

ПИП – первичный измерительный преобразователь;
 УОАС – устройство обработки аналогового сигнала;
 УОЦС – устройство обработки цифрового сигнала;
 УОРИ – устройство отображения результатов измерения.

$$C_{CO_2} = \varphi(KOD10). \quad (7)$$

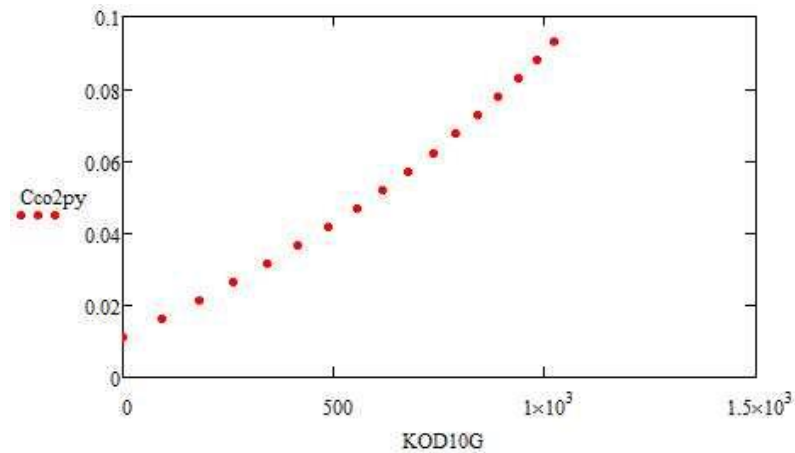


Рисунок 7 – Зависимость концентрации диоксида углерода и значения десятичного кода

Алгоритм получения результатов измерения

$$m:=3 \quad A = \begin{pmatrix} 0.010945 \\ 5.602413 * 10^{-5} \\ 6.99044 * 10^{-9} \\ 1.624865 * 10^{-11} \end{pmatrix} \quad C_{\text{взмк}} := \sum_{q=0}^m [A_q * (KOD10G_k)^q].$$

Цифровая модель не учитывает:

- шумы аппаратуры;
- температурные смещения сигналов в ОУ;
- возмущения, влияющие на измерительный процесс (стабильность потока измерения СИД, влияния изменения атмосферного давления и температуры, явление деградации оптоэлектронных приборов) и т.д.

Выявление погрешностей измерения выполнено методом сличения результатов измерения (моделирования) с истинными значениями измерений концентрации углекислого газа. Для задания наихудшего режима измерительного процесса модель

входного сигнала имеет закон нормального распределения значений измеряемой величины (концентрации C_{O_2}). Параметры погрешности обрабатывались по следующей методике:

$$\varepsilon_k = C_{\text{созп}} - C_{\text{изм}_k} \quad (8)$$

Производим оценку дисперсии:

$$D\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^m (\varepsilon_k - m\varepsilon)^2 \quad (9)$$

Оцениваем С.К.О

$$\sigma\varepsilon = \sqrt{D\varepsilon} \quad (10)$$

Выполняем оценку максимального значения погрешности

$$\varepsilon_{\text{max}} = |m\varepsilon| + t\beta \cdot \sigma\varepsilon \quad (11)$$

Приведем значение максимальной погрешности

$$\gamma = \frac{\varepsilon_{\text{max}}}{C_{\text{IK}} - C_{\text{m}}} \cdot 100\% \quad (12)$$

Приведенные значения погрешности составили $\gamma_{\text{max}} = 0,08\%$; $t\beta_j$ – доверительные границы нормированной величины распределений Стьюдента, при $\beta = 0,95$; $t\beta_j = 1,96$. Если бы в ходе работы был учтен ряд возмущений, то метрологические оценки оказались более близкие к реальным газоаналитическим средствам измерения, и имели бы значения погрешности где-то 1–2%.

Выводы

1. В процессе исследования и разработки интеллектуальной системы измерения диоксида углерода, стенда испытания горноспасательной аппаратуры, выполнен анализ и обзор методов и устройств контроля концентрации углекислого газа. Оценены метрологические характеристики предложенной конструкции измерителя в виде двух блоков: выносного размещаемого на дыхательном аппарате и отдельного блока, в котором размещены электронные схемы и представляются результаты измерения. Цифровые узлы сгруппированы вокруг микропроцессорного устройства, на которое возложены функции управления процессами измерений как канала измерения концентрации углекислого газа, так и других каналов.

2. Разработанными методами математического моделирования получены: оценки метрологических характеристик; градуированная характеристика измерительного канала и оценки значений не исключенной части погрешности.

3. Дальнейшую работу планируется продолжить в направлении повышения точности метода измерительной системы диоксида углерода с целью увеличения быстродействия измерения концентрации C_{O_2} .

Список литературы

1. Гусев В.Г. Электроника [Текст] / В.Г. Гусев., Ю.М. Гусев. – [2-е, перераб. и доп.] – М : Высшая школа, 1991. – 622 с.

2. Кестер У. Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов. (Analog-Digital Conversion) [Текст] / У. Кестер; под ред. Уолт Кестер ; пер. с англ. под ред. А. А. Власенко. – Москва: Издательство «Техносфера», 2010. – (Серия «Мир электроники»).
3. Капнометр для чрезвычайных ситуаций. EMMA. © ЗАО "БИМК-Кардио" Электронные данные. – Режим доступа: [Электронный ресурс] – Дата доступа: май 2015. – Загл. с экрана.
4. The hitran Database copyright © 2015 Ontar Corporation. All Rights Reserved. Электронные данные. – Режим доступа:[Электронный ресурс] – Дата доступа: май 2015. – Загл. с экрана.
5. Испытательный стенд «искусственные легкие» для исследования изолирующих дыхательных аппаратов ФГБОУ ВПО "ТГТУ" © 1995-2015. Электронные данные. – Режим доступа: [Электронный ресурс] – Дата доступа: май 2015. – Загл. с экрана.

References

1. Gusev V.G., Gusev Ju. M. Electronics. 2nd ed. Revised and Enlarged. Moscow, Vysshaya Shkola, 1991. 622 p.
2. Kester W. Mixed-Signal and DSP Design Techniques. Russ. ed. by Vlasenko A. A., Moscow, "Technosfera", 2010
3. Emergency Capnometer EMMA. © JSC "B&MK-Cardio". E-data. (accessed May 2015).
4. The hitran Database copyright © 2015 Ontar Corporation. All Rights Reserved. Electronic data. (accessed May 2015).
5. Test Bench "Artificial Lungs" for the study of insulating respirators of the Tambov State Technical University © 1995-2015. Electronic data. (accessed May 2015).

RESUME

L. V. Kulshun, M. G. Hlamov, I. Y. Denischenko
Research of an Intelligent System for Measuring Carbon Dioxide, Test Bench For Mine Rescue Equipment

Background: The device is designed to control parameters of exhaled carbon dioxide, reflecting its concentration and breathing rate as well as to display the information, helping rescuers and workers to keep track of the current state of a person.

Materials and methods: The purpose of the development is monitoring health of workers with the help of personal protective and monitoring equipment embedded in autonomous insulating respirators; displaying information of measurements; and integrating new technical elements. The instrument is designed to measure the concentration of carbon dioxide for mine-rescue equipment.

The device shall consist of the following components:

- optical probe measuring channel designed to measure the concentration of carbon dioxide
- analog multiplexer designed for serial connection of measuring channels to the input of the device digital component;
- analog-to-digital converter;
- microprocessor unit designed to determine the substance concentration and display the results.

The method represented by the block diagram implies: a source of narrow-band radiation with radiation spectrum coincident with carbon dioxide absorption spectrum; an optical circuit providing irradiation of air-gas mixture; a photodetector providing optical radiation flux conversion into signals convenient for further processing with release of information about the concentration of carbon dioxide. Optical flow modulation is provided to reduce the noise level of the detector and the signal processing unit.

The modulation scheme involves structural calculation of transducer output signal for voltage concentration, using the Matchcad.

Results: Any existing analog, namely the EMMA Emergency Capnometer which is an on-line compact autonomous respiratory analyzer used in ambulance, emergency and intensive care units for monitoring intubation procedures and concentration of CO₂, has a high cost of several hundred dollars. The urgency of the research lies in the fact that our own development is ten times more economical and it is not inferior to the analog.

Conclusion: During the development of carbon dioxide measurement technology for test bench of simulating respiration, the methods and devices for monitoring concentration of carbon dioxide are analyzed and overviewed. Metrological characteristics of the proposed design of the meter, consisting of two blocks (the remote block placed on respirators, and the separate block containing electronic circuits and displaying the results of measurements) are estimated. Digital units are grouped around the microprocessor unit controlling measurement processes of the channel for measuring the carbon dioxide concentration and other channels. The graded characteristic of the measuring channel and the values of the residual error term are obtained.

Further research is directed at increasing the accuracy of the method for carbon dioxide measuring system in order to speed up the measurement of CO₂ concentration.

Статья поступила в редакцию 06.02.2017..