

УДК 621.317

Н.Ю. Кудряшов, В.А. Куклин, К.Ю. Трифонов
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ЗВУКОВОЙ КАРТЫ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ
ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ**

*Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А. Н. ТУПОЛЕВА - КАИ, Институт
радиоэлектроники и телекоммуникаций, Казань, Россия.*

Статья посвящена проблеме создания доступных информационно-измерительных систем, для проведения экспериментально-исследовательских работ, с гибкой программно-аппаратной перестройкой алгоритма регистрации аналоговых сигналов и обработки результатов измерений. Использование возможностей преобразования аналоговых сигналов звуковой картой персонального компьютера для этих целей существенно упрощает структуру такой системы. Однако область её применения для регистрации импульсных сигналов исследована недостаточно. Моделирование процесса преобразования и оцифровки прямоугольных импульсов аудиоканалом персонального компьютера показали существенные искажения их формы. В статье проведен анализ методов усреднения флуктуаций для восстановления амплитуды зарегистрированных импульсных сигналов. Было установлено, что усреднение за промежуток времени по уровню половины пикового значения искаженных импульсов практически устраняет систематическую ошибку предварительной обработки. Так же выявлено, что конечное значение частоты дискретизации АЦП приводит к ошибке усреднения, которая при использовании современных звуковых карт не превышает 5% при регистрации импульсных сигналов в диапазоне частот до 5-7 кГц. Проведены исследования амплитудной и частотной характеристик такого канала регистрации. Анализ результатов исследований показал, что аудиоканал персонального компьютера может быть использован в информационно-измерительных системах для регистрации импульсных сигналов амплитудой до 0,5 В.

Ключевые слова: импульсный сигнал, звуковая карта, импульсная фотометрия, нефелометрия.

Введение. При проведении физических экспериментов необходимо обеспечить, как сохранение результатов измерений, так и их оперативную обработку с использованием различной степени сложности алгоритмов обработки полученных данных. Так, например, в нефелометрии, при исследовании характеристик nano размерных частиц по рассеянному излучению, необходимо обеспечить решение обратных задач, описываемых интегральными уравнениями со сложными начальными и граничными условиями [1,2,7]. В тоже время использование импульсной фотометрии для анализа прозрачности и мутности объектов исследования сложность и объем вычислений незначительны [3,4]. Безусловно, что современные микроконтроллеры позволяют решать, весь этот круг задач при регистрации и обработке результатов экспериментов. Однако

обременение микроконтроллера опцией сохранения исходных данных существенно усложняет и удорожает его структуру.

Данная работа посвящена исследованию возможности и области применения звуковой карты персонального компьютера для регистрации аналоговых сигналов и последующей обработки результатов измерений. Современные профессиональные звуковые карты используют АЦП с разрядность 24 –bit с частотой дискретизации до 192 кГц. Широко распространенным является использование 16 разрядных АЦП с частотой дискретизации до 96 кГц. При использовании таких технических средств, нет каких-либо ограничений для исследования гармонических процессов в диапазоне до 20 кГц. Несколько сложнее обстоит дело при регистрации импульсных процессов, когда спектр исследуемых сигналов выходит за пределы частотного диапазона звуковой карты.

Моделирование искажений и оптимизация предварительной обработки. Использование звуковых карт для регистрации импульсных сигналов неизбежно приведет к искажению формы импульсного сигнала [5,6], что наглядно отображается на Рисунке 1, где показаны результаты оцифровки при регистрации последовательности прямоугольных импульсов частотой 1 кГц (меандр) амплитудой 0,41 В. Длительность фронтов 20-30 нс. Сигнал подавался от генератора на линейный вход звуковой карты с 16-разрядным АЦП и частотой дискретизации до 192 кГц. Регистрация и оцифровка исследуемого сигнала осуществлялась под контролем пакета *Wavepad*, который позволяет управлять режимом работы звуковой и сохранять информацию в аудиофайле с расширением *.wav*. Обработка полученного аудиофайла выполнялась с помощью программных средств пакета *Wolfram Mathematica 9*.

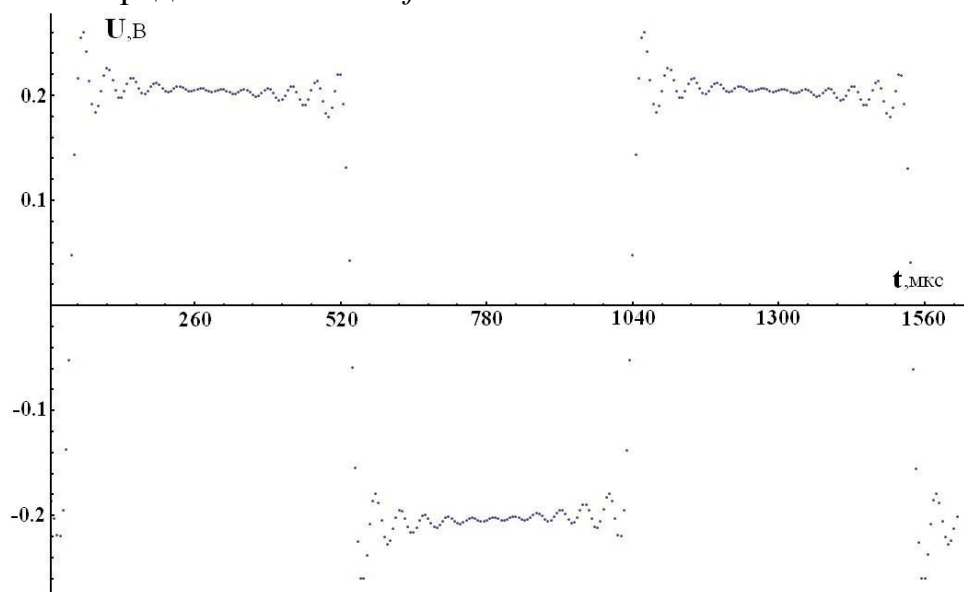


Рисунок 1 Регистрация прямоугольных импульсов,
с использованием звуковой карты.

Характер искажений прямоугольных импульсов, показанных на Рисунке 1, однозначно определяется полосой пропускания усилителя звуковой карты. Величина выбросов на фронтах импульсов не превышает 18% в полном соответствии с явлением Гиббса [5]. Очевидно, что при регистрации сигналов с такими искажениями получение достоверной информации о временных характеристиках импульсов невозможно. Поэтому недопустимо использование звуковой карты для исследования и анализа физических процессов, связанных с динамикой изменения их параметров в течение длительности импульса. Однако в ряде случаев, в частности, для нефелометрии и импульсной фотометрии достаточно информации только об амплитуде зарегистрированных световых импульсов [1,2,7].

В связи с большой величиной амплитудной флуктуации оцифрованных импульсов возникает необходимость в выборе критерия, который позволял бы получить некоторый параметр, адекватно описывающий амплитуду реального физического процесса в условиях искажений при регистрации информации. Вероятно, что возможны как минимум два варианта оценки – по пиковому значению или по среднему значению искаженных импульсов. Использование пикового значения для оценки амплитуды исследуемого исходного импульса существенно упрощает обработку результатов измерений, но величина выбросов в сильной мере зависит от длительности фронтов регистрируемых сигналов. Поэтому мы остановились на использовании среднего значения флуктуаций зарегистрированного искаженного импульса для получения информации об исследуемом импульсном процессе.

Для выбора метода усреднения проведем моделирование процесса искажений импульсных сигналов при регистрации их звуковой картой. Используем широко известное выражение спектра периодических прямоугольных импульсов [5,6] для получения выходного сигнала звуковой карты в условиях конечной полосы пропускания ее усилителя.

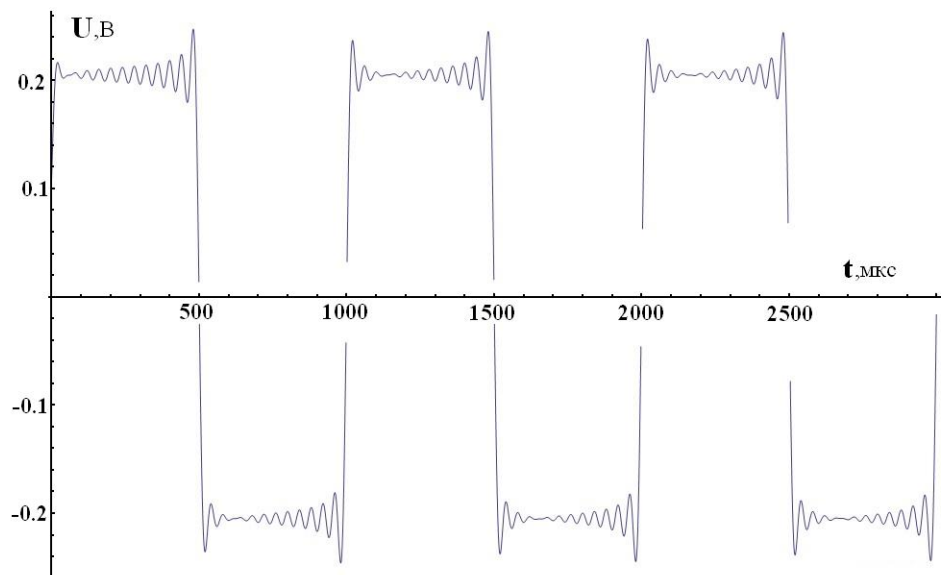


Рисунок 2 Восстановление прямоугольных импульсов обратным преобразованием Фурье в полосе частот 10-25 000 Гц.

Результаты восстановления приведены на Рисунке 2. Восстановление входного сигнала в этом случае осуществлялось с использованием обратного преобразования Фурье с интегрированием в пределах полосы пропускания. Усреднение за период дает величину амплитуды восстановленных импульсов ($P_k - P_k$) равную 0,4033 В. при амплитуде исходных импульсов 0,41 В. Очевидно, что такое занижение средней амплитуды, восстановленных импульсов, определяется потерей энергии высших гармоник спектра исходных прямоугольных импульсов. Данный метод усреднения приводит к дополнительной систематической ошибке, уровень которой оценивается величиной в несколько процентов и существенно зависит параметров исследуемого сигнала.

В соответствии с ГОСТ 13109-97 длительность импульса определяется по уровню 0,5 от его пикового значения и это широко используется в практике. Усреднение за промежуток времени, в соответствии с данным определением, дает значение амплитуды восстановленных импульсов 0,409976 В. весьма близкое к амплитуде исходного сигнала. Наблюдаемое снижение систематической ошибки на 3-4 порядка. Таким образом, данный модельный эксперимент показывает, что такое усреднение флуктуаций позволяет с высокой степенью точности восстановить амплитуду регистрируемых импульсных сигналов даже в условиях искажений прямоугольных импульсов за счет ограниченной полосы пропускания звуковой карты. На этом и построим алгоритм предварительной обработки зарегистрированного сигнала.

В отличие от модельного анализа, при использовании звуковой карты, исследуемый сигнал восстанавливается уже по дискретным значениям, что приводит к дополнительной ошибке, не являющейся систематической.

Данная ошибка возникает вследствие конечного объема выборки и характеризуется доверительным интервалом оценки математического ожидания. Величина этой ошибки определяется соотношением параметров используемой звуковой карты и частоты (в большей степени длительности) исследуемых импульсных сигналов.

Искомое среднее значение при обработке аудиофайла определим следующим выражением (отдельно для положительной μ_+ и отрицательной μ_- полуволны)

$$\mu_{+,-} = \frac{\sum_{i\downarrow}^{i\uparrow} u_i}{i\downarrow - i\uparrow + 1}, \quad (1)$$

где $i\downarrow, i\uparrow$ - индексы отсчетов напряжений U_i в структуре аудиофайла, соответствующие уровню 0,5 на переднем и заднем фронтах импульса соответственно; $n_{+,-} = i\downarrow - i\uparrow + 1$ - объем выборки (количество отсчетов) [8]. Флуктуации искажений исследуемого сигнала можно охарактеризовать «исправленной» выборочной дисперсии, для которой справедливо следующее выражение [8]

$$S_{+,-} = \frac{\sqrt{\sum_{i\downarrow}^{i\uparrow} (u_i - \mu_{+,-})^2}}{n_{+,-} - 1}, \quad (2)$$

а для величины доверительного интервала используем следующее выражение [8]

$$(\mu_{+,-} - t_{+,-} S_{+,-} / \sqrt{n_{+,-}}, \mu_{+,-} + t_{+,-} S_{+,-} / \sqrt{n_{+,-}}), \quad (3)$$

где $t_{+,-}$ - квантиль распределения Стьюдента, соответствующая объему выборки (количеству отсчетов в течение длительности импульса по ГОСТ 13109-97) и заданному уровню значимости (в данной работе использовался уровень значимости 0,05).

Исследование основных характеристик. Используя данную методику предварительной обработки сигналов, определим амплитудный и частотный диапазон возможного применения звуковой карты компьютера для регистрации импульсных сигналов.

На Рисунке 3 приведена амплитудная характеристика канала регистрации с применением звуковой карты и предварительной обработки последовательности прямоугольных импульсов с частотой 3 кГц при частоте дискретизации 192 кГц.

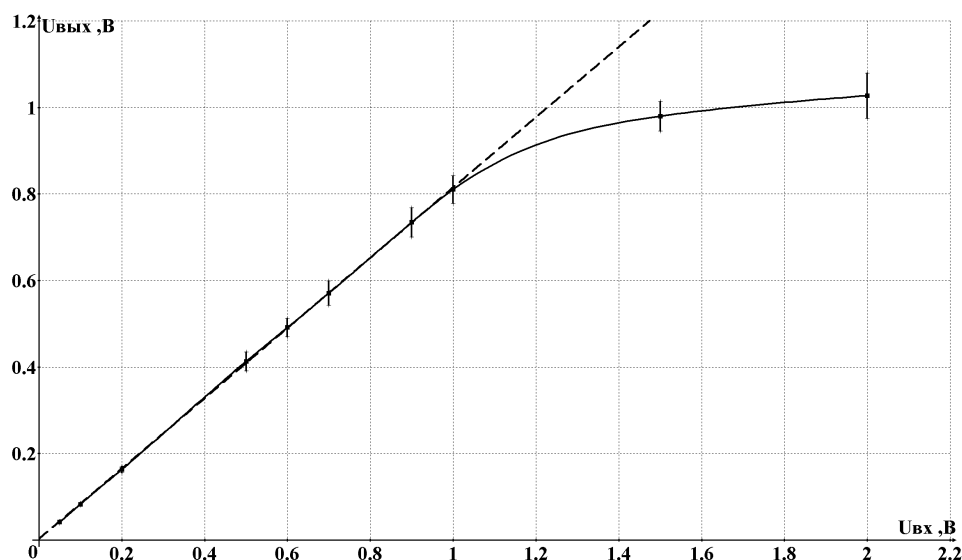


Рисунок 3 Амплитудная характеристика канала регистрации импульсного сигнала частотой 3 кГц и частотой дискретизации 192 кГц. Пунктирная линия линейная аппроксимация характеристики $0.8121 U_{вх} + 0.0023246$ в диапазоне входных сигналов до 1 В.

Коэффициент передачи канала регистрации с исследуемой звуковой картой на линейном участке составляет 0,8121, и эта величина является индивидуальной для каждого экземпляра. Измерение коэффициента передачи на гармоническом сигнале дает близкий результат 0,8175. Доверительный интервал оценки амплитуды прямоугольного импульса на линейном участке амплитудной характеристики не превышает 5 %. Уменьшение частоты дискретизации до 96 кГц дает результаты, не выходящие за пределы указанного доверительного интервала. Таким образом, данные измерения показывают возможность использования звуковой карты для регистрации импульсных сигналов с линейной амплитудной характеристикой в диапазоне амплитуд до 1 В.

На Рисунках 4а и 4б приведены частотные характеристики канала регистрации с предварительной обработкой последовательности прямоугольных импульсов (меандр) при двух уровнях входного напряжения (1 В и 0,5 В).

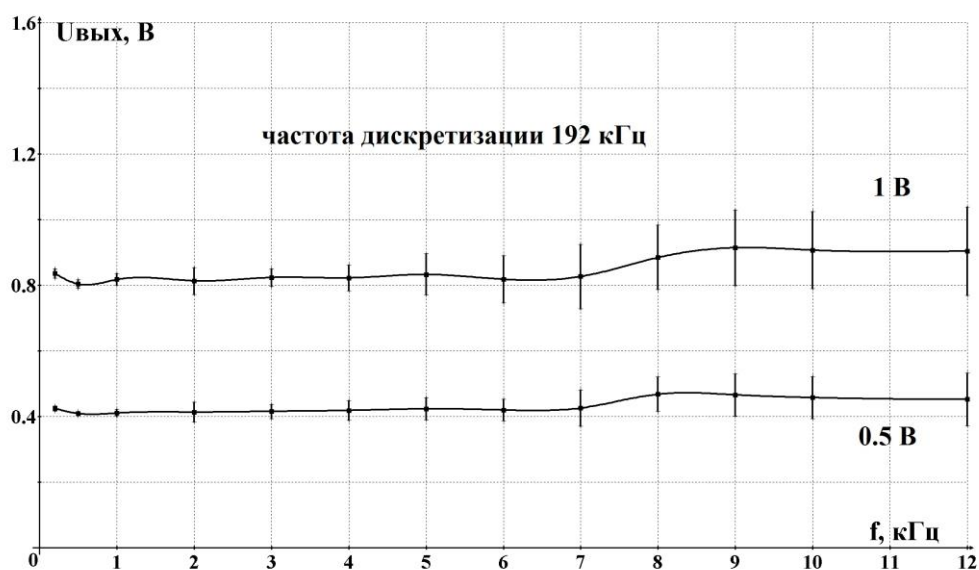
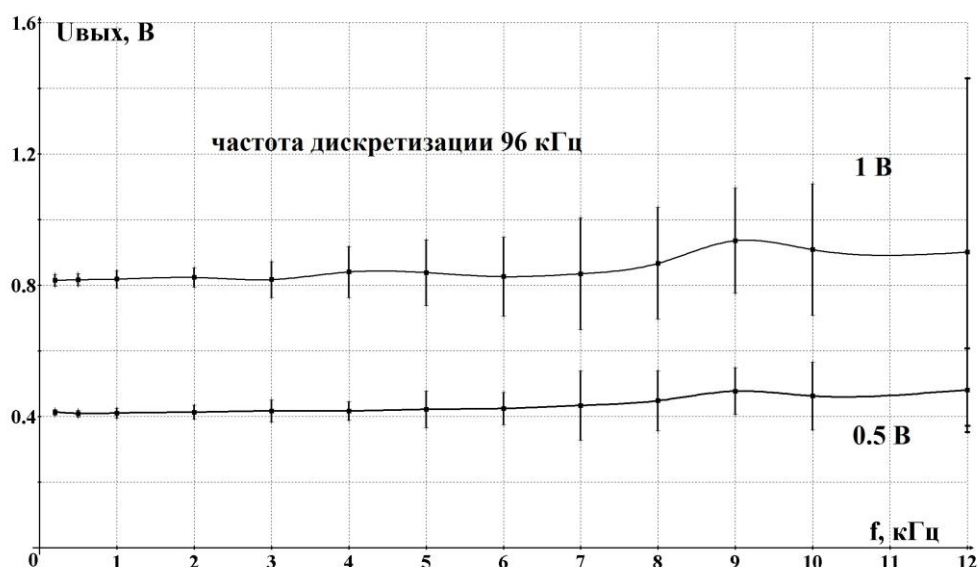


Рисунок 4 Частотная характеристика канала регистрации импульсных сигналов с использованием звуковой карты компьютера.

Результаты исследований показывают существенную зависимость ошибки оценки средней амплитуды регистрируемых импульсных сигналов от частоты дискретизации АЦП используемой звуковой карты и от уровня входного сигнала. Удовлетворительные результаты получаем при уровне сигналов до 0,5 В с частотой до 3-4 кГц для частоты дискретизации 96 кГц и при уровне сигналов 0,5 В с частотой до 7 кГц для частоты дискретизации 192 кГц.

Заключение. Современные звуковые карты персональных компьютеров (с частотой дискретизации 96 кГц и выше) позволяют создавать информационно-измерительные системы с регистрацией амплитуды

импульсных сигналов частотой до 3-7 кГц. Доверительный интервал ошибки усреднения искажений не превышает 5%. Файловое сохранение исходных данных при таком способе регистрации дает возможность многократной проверки и корректировки модели исследуемого физического процесса, используя гибкость изменения алгоритма обработки программными средствами персонального компьютера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лысенко С.П., Кугейко М.М. Спектрнефелометрические методы определения микрофизических характеристик пыли в аспирационном воздухе и отходящих газах цементных производств // Журнал прикладной спектроскопии . 2012. Т. 79, №1. с. 66-77.
2. Данилаев М.П., Дорогов Н.В., Куклин В.А., Курангышев А.В., Шилов Н.С. Измерение характерного размера субмикронных частиц в технологических процессах методом светового рассеяния. // Нано- и микросистемная техника. 2017. Т.19, №7. с. 417-420.
3. Волькенштейн А.А., Кувалдин Э.В. Фотоэлектрическая импульсная фотометрия. Л. «Машиностроение», 1975. 192 с.
4. Кувалдин Э.В. Системный подход к энергетическому расчету фотометрического прибора // Научное приборостроение . 2003. Т. 13, №2. с. 52-56.
5. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: «Советское радио», 1977. 608 с.
6. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: «Высшая школа», 2002. 214 с.
7. Мецлер Э.А., Титов С.С., Муравлев Е.В., Павленко А.А., Архипов В.А. Экспериментальная установка для определения дисперсных параметров аэрозольных субмикронных сред // Ползуновский вестник. 2017. №1. с.56-62.
8. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: «Высшая школа», 2003. 479 с.

N.Y. Kudryashov, V.A. Kuklin, K.Y. Trifonov

INVESTIGATION OF THE USE OF A SOUND CARD FOR REGISTERING LOW-FREQUENCY PULSE SIGNALS

*Kazan national research Technical University. A. N. TUPOLEVA - KAI,
Institute of Radioelectronics and Telecommunications,
Kazan, Russia*

The article is devoted to the problem of creating accessible information and measurement systems for carrying out experimental research work, with flexible software and hardware reorganization of the algorithm for recording analog signals and processing

measurement results. Using the capabilities of converting analog signals to a PC's sound card for these purposes greatly simplifies the structure of such a system. However, the field of its application for recording pulsed signals has not been studied sufficiently. Simulation of the process of transformation and digitization of rectangular pulses by the audio channel of a personal computer showed significant distortions in their form. The analysis of methods for averaging fluctuations for reconstructing the amplitude of registered impulse signals is analyzed. It was found that averaging over a period of half the peak value of the distorted pulses practically eliminates the systematic error of the preliminary processing. It is also revealed that the final value of the ADC sampling frequency leads to an averaging error, which, when using modern sound cards, does not exceed 5% when recording impulse signals in the frequency range up to 5-7 kHz. The amplitude and frequency characteristics of such a registration channel are investigated. Analysis of the research results showed that the audio channel of a personal computer can be used in information and measurement systems for recording pulse signals with amplitude up to 0.5 V.

Keywords: pulse signal, sound card, pulse photometry, nephelometry.

REFERENCES

1. Lysenko S.P., Kugeyko M.M. Spektronefelometricheskie methods of the determination micro physical features of dust in aspirating air and leaving gas cement production // Journal of Applied Spectroscopy. 2012.V.79, No 1. 66-77 pp.
2. Danilaev M.P., Dorogov N.V., Kuklin V.A., Kurangyshev A.V., Shilov N.S. Measurement of the characteristic size of submicron particles in technological processes by the method of light scattering. // Nano- and microsystem technology. 2017. T.19, No 7. 417-420 pp.
3. Volikenshteyn A.A., Kuvaldin E.V. Photoelectric pulse photometry. L. "Mechanical Engineering", 1975. 192 p.
4. Kuvaldin E.V. A systematic approach to the energy calculation of a photometric device // Scientific Instrument Making. 2003. T. 13, No. 2. 52-56 pp.
5. Honorovsky I.S. Radio engineering circuits and signals. Moscow: Soviet Radio, 1977. 608 p.
6. Baskakov S.I. Radio engineering circuits and signals. M.: "Higher School", 2002. 214 p.
7. Metzler E.A., Titov S.S., Muravlev E.V., Pavlenko A.A., Arkhipov V.A. Experimental setup for determining disperse parameters of aerosol submicron media. Polzunovskii vestnik. 2017. No 1. 56-62 pp.
8. Gmurman V.E. Theory of Probability and Mathematical Statistics. Moscow: "Higher School", 2003. 479 p.