

# ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 620.179.16:677.31/35:3636.32/38

А.А. Багаев, Ц.И. Калинин,  
В.Г. Резинов, Р.А. Куницын  
A.A. Bagayev, Ts.I. Kalinin,  
V.G. Rezinov, R.A. Kunitsyn

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ АКУСТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ОТ МАССЫ ОБРАЗЦА НЕУПОРЯДОЧЕННОГО ВОЛОКОННОГО МАТЕРИАЛА И ДИАМЕТРА ВОЛОКОН

### THE RESEARCH RESULTS OF THE DEPENDENCE OF THE SOUND PRESSURE OF ULTRASONIC VIBRATIONS ON THE WEIGHT OF DISORDERED FIBER MATERIAL SAMPLE AND FIBER DIAMETER

**Ключевые слова:** ультразвук, масса образца, тонины шерсти, математическая модель, полнофакторный эксперимент, акустическое давление.

Основным параметром, положенным в основу государственного стандарта классификации шерсти и формирования ее производственно-продажных партий, является тонины (диаметр волокон). Наиболее перспективным исследованием, позволяющим анализировать значение тонины в массе образца, является исследование функциональной зависимости акустического давления ультразвуковой волны на приемный элемент при прохождении образцов меринской шерсти от массы исследуемого образца и диаметра волокон с последующим получением математической модели, описывающей этот процесс. Реализация полнофакторного эксперимента показала, что величина акустического давления ультразвуковых колебаний обратно пропорциональна массе образца волоконного материала и диаметру волокон (тонины) в образце, функциональная зависимость акустического давления ультразвуковой волны на приемный элемент при прохождении образцов меринской шерсти от массы исследуемого образца и тонины. Получены эмпирические математические модели второго порядка в виде уравнения регрессии, описывающие изменения амплитуды акустической волны. Была получена зависимость в кодированном и раскодированном виде, описывающая совместное влияние изменения тонины и массы исследуемого образца на величину акустического давления. Проведен анализ, сформулированы уравнения в закодированном и раскодированном виде, описывающие

влияние каждого из исследуемых факторов на изменение акустического давления и величину сигнала поступающего от пьезодатчика. Проведенные исследования затухания ультразвуковых колебаний, в образцах неупорядоченной шерсти показали, что предложенная конструкция акустического преобразователя, методика измерений и способ определения тонины волокон позволяют измерять среднее значение тонины шерсти с высокой точностью, достаточной для применения ультразвуковых приборов при контроле показателей качества шерсти.

**Keywords:** ultrasound, sample weight, wool fineness, mathematical model, full factorial experiment, sound pressure.

Fiber fineness (fiber diameter) is the basic parameter of the national standard of wool classification and the formation of wool production and sales batches. Ultrasonic technique is the most promising one that enables investigating fiber fineness in a sample. The research goal is to study the functional dependence of the sound pressure of the ultrasonic wave on the receiver element during merino wool samples passage on the weight of the tested sample and fiber diameter and subsequent obtaining of the mathematical model describing the process. The full factorial experiment showed that the value of the sound pressure of ultrasonic vibrations is inversely proportional to the weight of the fiber material sample and fiber diameter (fineness) in the sample; the functional dependence of the sound pressure of the ultrasonic wave on the receiver element during merino wool samples passage on their weight and wool fineness is shown. Empirical mathematical models of the second order in the form of regression equations

describing the variation of the amplitude of the sound wave were obtained. The dependence in coded and decoded forms describing the joint effect of the changes in the fineness and weight of the test sample on the value of the sound pressure was determined. The analysis was conducted and the equations in coded and decoded forms describing the effect of each studied factor on the change of sound pressure and the value of the signal coming from the

piezoelectric detector were established. The study of ultrasonic vibration damping in disordered wool samples show that the proposed design of the acoustic transducer, the measurement technique and the method of determining fiber fineness enable measuring the average value of wool fiber fineness with the high accuracy sufficient to apply ultrasonic devices in wool quality control.

**Багаев Андрей Алексеевич**, д.т.н., проф., зав. каф. электрификации и автоматизации сельского хозяйства (ЭиАСХ), Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-84-49. E-mail: багаев710@mail.ru.

**Калинин Цезарь Иванович**, к.т.н., доцент, каф. ЭиАСХ, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: багаев710@mail.ru.

**Резинов Владимир Геннадьевич**, к.ф.-м.н., ст. преп., каф. ЭиАСХ, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: pezinov@mail.ru.

**Куницын Роман Александрович**, к.т.н., ст. преп., каф. ЭиАСХ, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: Kynizin\_roman@mail.ru.

**Bagayev Andrey Alekseyevich**, Dr. Tech. Sci., Prof., Head, Chair of Electrification and Automation of Agriculture, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-84-49. E-mail: багаев710@mail.ru.

**Kalinin Tsezar Ivanovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Electrification and Automation of Agriculture, Altai State Agricultural University. E-mail: багаев710@mail.ru.

**Rezinov Vladimir Gennadyevich**, Cand. Phys.-Math. Sci., Asst. Prof., Chair of Electrification and Automation of Agriculture, Altai State Agricultural University. E-mail: pezinov@mail.ru.

**Kunitsyn Roman Aleksandrovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University. Chair of Electrification and Automation of Agriculture, E-mail: Kynizin\_roman@mail.ru.

### Введение

Основным параметром, положенным в основу государственного стандарта классификации шерсти и формирования ее производственно-продажных партий, является тонина, принадлежность значения которой к тому или иному классу определяет качество продукции текстильной промышленности, закупочную цену шерсти и экономические показатели функционирования овцеводческого хозяйства [1, 2]. Совершенствование методов и технических средств определения тонины шерсти является весьма актуальным для хозяйств производителей шерсти.

Известные методы и технические средства оценки тонины (органолептический, оптический, пневматический и др.) не обеспечивают оперативности исследования, трудоемки, зачастую субъективны и, самое главное, не обеспечивают требуемой точности измерений, т.е. не способны выступать в качестве технологического фактора, позволяющего корректировать рацион и условия содержания овец для достижения требуемых показателей качества шерсти [3].

Мировая и отечественная практика показывает, что наиболее перспективным направлением повышения эффективности первичной обработки шерсти является переход на одноэтапную систему её подготовки непосредственно в овцеводческих хозяйствах.

Одной из проблем практической реализации этой технологии является переход с органолептического метода контроля параметров шерсти на инструментальный экспресс – контроль, обеспечивающий точную оценку мет-

рологических показателей и формирование однородных продажных партий шерсти и компоновку шерстяных смесей.

Проведенными в последнее время исследованиями была установлена возможность ультразвукового контроля параметров таких растительных волокон, как хлопок и лен [4]. Вместе с тем свойства перечисленных волоконных материалов значительно отличаются от специфических особенностей шерсти, волокна которой имеют чешуйчатую структуру, обладают значительной неоднородностью волокон по тонине и т.д.

С другой стороны, результаты экспериментальных исследований позволяют утверждать, что методы и технические средства ультразвукового экспресс-контроля параметров волокна неупорядоченного образца мериносовой шерсти можно считать весьма перспективными при условии обеспечения низкой и статистически достоверной погрешности результата измерений [5, 6].

**Целью работы** является исследование функциональной зависимости акустического давления ультразвуковой волны на приемный элемент при прохождении нерегулярных образцов мериносовой шерсти от массы исследуемого образца и диаметра волокон с последующим получением математической модели, описывающей этот процесс.

### Технические средства

#### и методы экспериментальных исследований

Для реализации серии экспериментальных исследований была разработана специальная конструкция ультразвукового датчика и элек-

тронного блока цифровой обработки и индикации [6] для оценки тонины образцов сырой мериносовой шерсти, предоставленных овцеводческим хозяйством. Испытания этих образцов показали, что оценка средней тонины шерсти в овцеводческом хозяйстве путем экспресс-измерения затухания ультразвуковых колебаний возможна с достаточно высокой точностью [8].

В качестве материала источника и приемника датчика выбрана пьезокерамика типа ЦТС-19, характеризующаяся повышенными механической добротностью и диэлектрической проницаемостью, обладающая низкими электрическими и механическими потерями, слабовыраженной нелинейностью.

Для повышения температурной стабильности и фиксирования положения излучателя и приемника излучения разработана специальная конструкция фиксации пьезоэлементов излучателя и приемника ультразвуковых колебаний. Отличительной особенностью конструкции является фиксация пьезоэлемента в кожухе из вспененной резины, что позволяет повысить точность установки пьезоэлементов источника и приемника по отношению к продольной оси датчика, снижает колебательность устройства во время работы, расширяет область резонансных частот и улучшает температурную стабильность излучателя.

Ультразвуковой датчик отличается наличием двух каналов: измерительного и реперного, обеспечивающего компенсацию влияния внешних возмущений на результат измерения.

Повышение точности измерения обеспечивается применением разработанного способа определения тонины волокон [8], предусматривающего прозвучивание исследуемого образца с четырех сторон с последующим вычислением среднего значения.

С целью фиксации исследуемого образца шерсти, исследования влияния объемной плотности волокон на результат измерений и обеспечения возможности прозвучивания исследуемого образца с четырех сторон разработана специальная конструкция лотков-

держателей, представляющая собой жесткий, но акустически прозрачный каркас.

### Результаты исследований

В качестве факторов выбраны следующие: диаметр волокна  $d = X_1$  (диапазон изменения  $d = 20-100$  мкм; масса образца  $m = X_2$  (диапазон варьирования  $m = 150-650$  мг; отклик (выходной параметр)  $U = y$ .

Кодирование факторов произведено по формулам [5, 6]:

$$\bar{X}_1 = \frac{X_{2j} - X_{min}^{(j)}}{X_{max}^{(j)} - X_{min}^{(j)}}; \quad (1)$$

$$\bar{X}_2 = \frac{X_{2j} - X_{min}^{(2)}}{X_{max}^{(2)} - X_{min}^{(2)}}. \quad (2)$$

где  $X_{max}^{(j)}, X_{min}^{(j)}$  – соответственно, верхняя и нижняя границы  $j$ -того фактора ( $j = 1, 2$ ).

В этом случае кодированные переменные изменяются в пределах от 0 до 1, что позволит оценить влияние каждого фактора и их взаимодействие на поведение акустического давления.

Для построения модели была выбрана матрица планирования полнофакторного эксперимента по схеме  $3^2$  (табл. 1).

В результате обработки экспериментальных данных и проверки значимости коэффициентов регрессии получено следующее уравнение:

$$y = 64,4\bar{X}_1 - 458,4\bar{X}_1\bar{X}_2^2 + 604,2\bar{X}_1\bar{X}_2 + 390\bar{X}_2^2 - 631\bar{X}_2 + 258. \quad (3)$$

В раскодированном виде полином (3) принимает вид:

$$U = -1,96d - 1,674m + 0,022dm + 2,02 \cdot 10^{-3}m^2 - 0,229 \cdot 10^{-4}dm^2 + 251,6. \quad (4)$$

На рисунке 1 представлена поверхность отклика, описывающая зависимость изменения величины сигнала  $U$  от изменения массы  $m$  и диаметра образца  $d$ .

Проанализируем выражение (3). Пусть  $m = \bar{X}_2 = C = \text{const}$ . Тогда уравнение (3) примет вид:

$$y = 64,4\bar{X}_1 - 458,4\bar{X}_1C^2 + 604,2\bar{X}_1C + 390C^2 - 631C + 258.$$

Таблица 1

Матрица планирования полнофакторного эксперимента

N п/п	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$X_1$	$X_2$	Урасч.	Уэсп. средн.	Экспериментальные				
							Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
1	0	0	20	150	258	258,88	261,87	259,29	256,71	259,29	257,23
2	0	0,5	20	300	40	40,36	40,40	40,60	40,52	39,88	40,40
3	0	1	20	650	17	17,24	17,26	17,26	16,92	16,92	17,85
4	0,5	0	60	160	289,6	290,58	288,15	292,50	293,94	288,73	289,60
5	0,5	0,5	60	300	165,3	165,51	163,93	167,22	166,89	162,28	167,22
6	0,5	1	60	650	121,7	122,23	123,32	122,72	123,32	120,89	120,89
7	1	0	100	150	320	322,24	324,80	318,40	324,80	318,40	324,80
8	1	0,5	100	300	289,5	292,97	292,40	303,98	288,05	292,40	288,05
9	1	1	100	650	224,8	227,45	224,87	225,32	224,87	224,87	237,30

После преобразований получим:

$$y = (-458,4C^2 + 604,2C + 64,4)\bar{X}_1 + (390C^2 - 631C + 258). \quad (5)$$

Уравнение регрессии (5) является уравнением прямой линии:

$$y = a\bar{X}_1 + b,$$

где  $a = -458,4C^2 + 604,2C + 64,4;$

$$b = 390C^2 - 631C + 258.$$

Поскольку  $C \in [0,1]$ , то коэффициент  $a = 0$  и коэффициент  $b = 0$ . Таким образом,  $a = 0; b = 0$  для любых  $C$ .

В качестве примера проведен расчет для  $C = 0; 0,5; 1$ . Полученные значения отклика занесены в таблицу 2.

В раскодированном виде уравнение (5) принимает вид:

$$U = (5,73C^2 + 7,553C + 0,805)d + (275,4C^2 - 782,06C + 241,9). \quad (6)$$

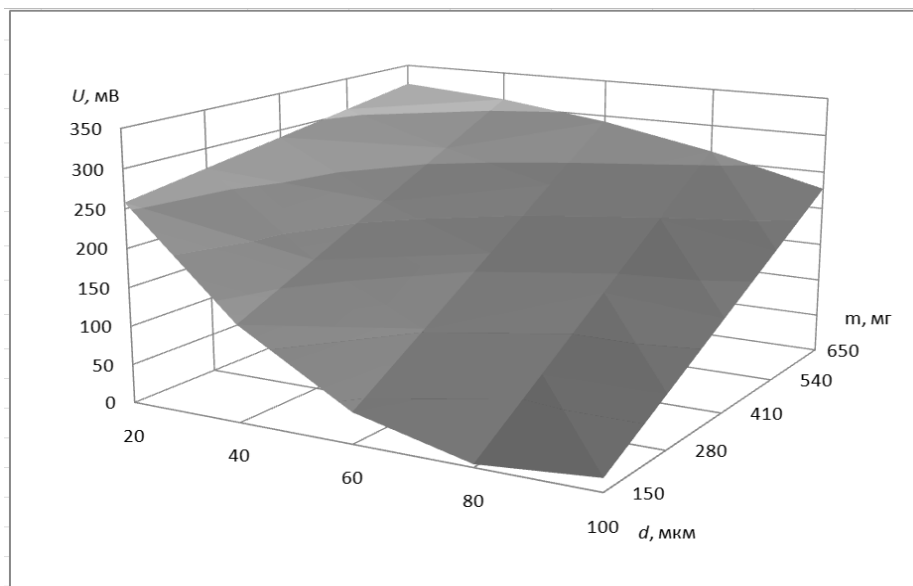


Рис. 1. Зависимость изменения величины сигнала  $U$ , мВ, от изменения массы  $m$ , мг, и диаметра образца  $d$ , мкм

Таблица 2

Расчетные данные изменения сигнала от диаметра волокна при различной массе

Наименование	Значение				
	0	0,25	0,5	0,75	1
$C$	0	0,25	0,5	0,75	1
$a$	64,4	186,8	252	259,7	210
$b$	258	124,6	40	4,13	17
$X1$	0	0	0	0	0
$X2$	1	1	1	1	1
$Y1$	258	124,6	40	4,125	17
$Y2$	322,4	311,4	292	263,8	227

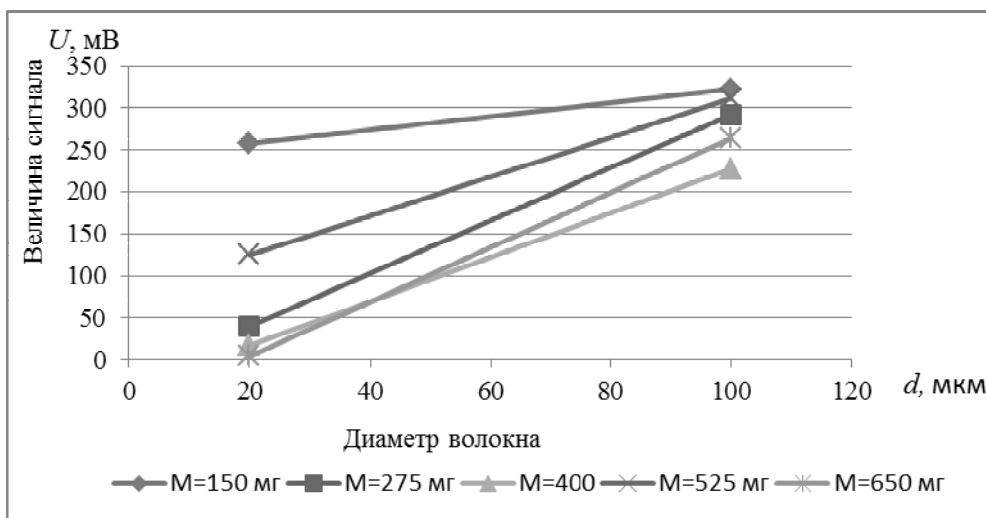


Рис. 2. Зависимость изменения сигнала  $U$ , мВ, от диаметра волокна  $d$ , мкм, при различной массе  $m$ , мг

Расчетные данные зависимости сигнала от массы образца

Наименование	Значение				
	2	3	4	5	6
1	0	0,25	0,5	0,75	1
C	390	275	160	46,2	-68,4
b	-631	-480	-328	-177	-26,8
g	258	274	290	306	322
X0	0	0	0	0	0
X1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
X2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
X3	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
X4	1	1	1	1	1
Y0	258	274	290	306	322
Y1	124,6	171	218	264	311
Y2	40	103	165	228	291
Y3	4,1	69	134	198	263
Y4	17	70	122	174	227

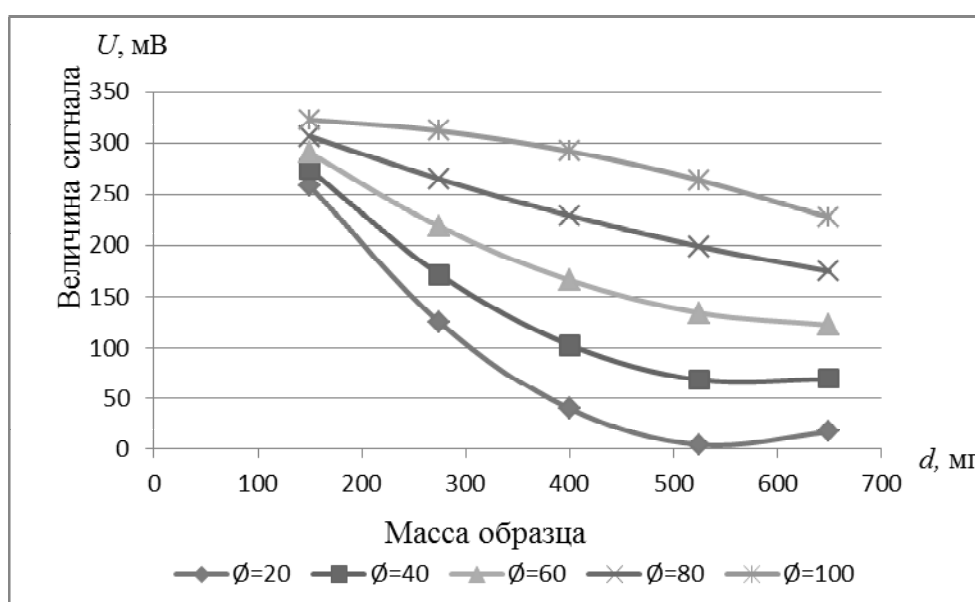


Рис. 3. График зависимости сигнала U, мВ, от массы образца t, мг, при различных диаметрах волокна d, мкм

Графическая интерпретация (6) приведена на рисунке 2.

Исследуем влияние массы образца на величину акустического давления. Для этого примем в уравнение (3)  $d = \bar{X}_1 = C = const$ . После преобразования выражения получим:

$$y = (390 - 458,4C)\bar{X}_2^2 + (604,2C - 631)\bar{X}_2 + (64,4C + 250). \quad (7)$$

Полученные значения отклика для  $C = 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1$  занесены в таблицу 3.

В раскодированном виде уравнение (7) принимает вид

$$U = (-0,1834C - 0,0274)m^2 + (56,22C - 48,062)m + (3957,3 - 4242,4C). \quad (8)$$

На рисунке 3 изображены графики полученной зависимости сигнала U от массы образца t при различных значениях диаметра волокон d.

### Выводы

Теоретические и практические исследования затухания ультразвуковых колебаний в образцах неупорядоченной шерсти показали, что предложенная конструкция акустического преобразователя, методика измерений с последующей цифровой обработкой и способ определения тонины волокон позволяют измерять среднее значение тонины шерсти с высокой точностью, достаточной для применения ультразвуковых приборов при решении задач непрерывного контроля показателей качества шерсти при выращивании и подготовке однородных по тонине партий шерсти в пределах овцеводческих хозяйств.

Установлено, что величина акустического давления ультразвукового колебания обратно пропорциональна массе образца волоконного материала t и диаметру волокон d в образце.

**Библиографический список**

1. Ульянов А.Н. Овцеводство: учебник. – Барнаул, 2008. – 460 с.
2. Ладугина А.Н. Настриг и качество шерсти овец нерчинского заводского типа забайкальской тонкорунной породы // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2004. – № 1. – С. 27-28.
3. Житенко П.В., Кирилук Б.И. Обработка и оценка животноводческого сырья. – М.: Россельхозиздат, 1983 – 183 с.
4. Костюков А.Ф. Метод ультразвукового контроля параметров сельскохозяйственного волоконного сырья: дис. ... канд. техн. наук; 05.20.02; защищена 30.03.12. – Барнаул, 2012. – 141 с.
5. Багаев А.А., Калинин Ц.И., Куницын Р.А. Повышение точности контроля объемной плотности неупорядоченных волоконных сред с помощью ультразвуковых датчиков // Ползуновский вестник. – 2011. – № 2/2. – С. 8-12.
6. Багаев А.А., Калинин Ц.И., Куницын Р.А. Ультразвуковой прибор для исследования меринской шерсти // Ползуновский вестник – 2010. – № 2. – С. 57-59.
7. Резинов В.Г., Куницын Р.А., Багаев А.А. Анализ влияния параметров измерительного канала и ультразвуковой волны на величину акустического давления при измерении тонины волоконных сельскохозяйственных материалов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 11 (109). – С. 107-111.
8. Способ определения тонины волокон. Патент № 2465582, G01N29/00, 2006 г. Российская Федерация, МПК G01N29/00 / Калинин Ц.И., Куницын Р.А., Багаев А.А., ФГОУ ВПО «Алтайский государственный аграрный университет». – № 2011116334/28, заявл. 25.04.2011 г.

**References**

1. Ul'yanov A.N. Ovtsevodstvo: uchebnik. – Barnaul, 2008. – 460 s.
2. Ladugina A.N. Nastrig i kachestvo shersti ovets nerchinskogo zavodskogo tipa za-baikal'skoi tonkorunnoi porody // Ovttsy, kozy, sherstyanoe delo. – 2004. – № 1. – S. 27-28.
3. Zhitenko P.V., Kirilyuk B.I. Obrabotka i otsenka zhivotnovodcheskogo syr'ya. – M.: Rossel'khozizdat, 1983 – 183 s.
4. Kostyukov A.F. Metod ul'trazvukovogo kontrolya parametrov sel'skokhozyaistvennogo volokonnoogo syr'ya: dis. ... kand. tekhn. nauk; 05.20.02. – Zashchishchena 30.03.12. – Barnaul, 2012. – 141 s.
5. Bagaev A.A., Kalinin Ts.I., Kunitsyn R.A. Povyshenie tochnosti kontrolya ob'emnoi plotnosti neuporyadochennykh volokonnykh sred s pomoshch'yu ul'trazvukovykh datchikov // Polzunovskii vestnik. – 2011. – № 2/2 – /S. 8-12.
6. Bagaev A.A., Kalinin Ts.I., Kunitsyn R.A. Ul'trazvukovoi pribor dlya issledovaniya merinosnoi shersti // Polzunovskii vestnik. – 2010 – № 2 - S. 57-59.
7. Rezinov V.G., Kunitsyn R.A., Bagaev A.A. Analiz vliyaniya parametrov izmeritel'nogo kanala i ul'trazvukovoi volny na velichinu akusticheskogo davleniya pri izmerenii toniny volokonnykh sel'skokhozyaistvennykh materialov // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 11 (109). – S. 107-111.
8. Sposob opredeleniya toniny volokon. Patent № 2465582, G01N29/00, 2006 g. Rossiiskaya Federatsiya, MPK G01N29/00 / Kalinin Ts.I., Kunitsyn R.A., Bagaev A.A., FGOU VPO «Altaiskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet». – № 2011116334/28, zayavl. 25.04.2011 g.



УДК 631.372

**В.Н. Кузнецов, В.И. Беляев, Ф.П. Мельников**  
**V.N. Kuznetsov, V.I. Belyayev, F.P. Melnikov**

**РАСЧЕТ ДАВЛЕНИЯ ВО ВПУСКНОМ КОЛЛЕКТОРЕ  
 МНОГОЦИЛИНДРОВОГО ДВИГАТЕЛЯ**

**CALCULATION OF INTAKE MANIFOLD PRESSURE IN MULTI-CYLINDER ENGINE**

***Ключевые слова:** газораспределительный механизм, впускной коллектор, диагностирование, расчет давления, математическая модель, волновые процессы, течение газа, адекватность модели.*

Разработана математическая модель работы газораспределительного механизма, позволяющая оценить изменение давления во впускном трубопроводе на всех участках подъема клапана для

последующего диагностирования ГРМ. Установлен закон изменения высоты подъема клапана в зависимости от угла поворота коленчатого вала, рассчитана скорость течения газа во впускном коллекторе как функция высоты подъема клапана и скорость движения поршня, а также давление во впускном коллекторе с учетом волновых процессов. Для применения уравнения неразрывности потока при вычислении скоростей истечения газов через клапанную щель предлагается использовать