

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Направление подготовки/профиль 12.06.01 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии/профиль 05.11.13 приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности.

Отделение электронной инженерии.

**Научный доклад об основных результатах подготовленной  
научно-квалификационной работы**

Тема научного доклада
<b>Акустический контроль глубины разведочных и эксплуатационных скважин</b>

УДК 620.179.17:622.241.6

Аспирант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
A4-33	Шульгина Юлия Викторовна		

Руководителя профиля подготовки

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШФВП	Юрченко Алексей Васильевич	Д.т.н.		

Руководитель отделения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Баранов Павел Федорович	к.т.н.		

Научный руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОЭИ	Солдатов Алексей Иванович	д.т.н.		

### **Актуальность темы.**

Повышение точности акустических измерений является актуальной задачей для различных отраслей промышленности. В горнодобывающей промышленности себестоимость добываемой горной массы определяется в том числе и качеством проведения взрывных работ. При организации взрывных работ большое внимание уделяется процессу бурения и подготовки скважины. Точные измерения скважины способны повысить качество подготовительного этапа, а также создание непогружного прибора способно снизить трудозатраты на проведение измерений.

**Целью диссертационной работы** является разработка способа и прибора для измерения длины скважины.

---

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Построение математической модели сигнала, прошедшего по скважине с заданными параметрами.
2. Разработка метода определения временной координаты начала отраженного сигнала.
3. Определение влияния соотношения частот на точность измерений.
4. Проведение лабораторных и натурных испытаний с целью установления точности.

Положения, выносимые на защиту.

1. Программная модель, позволяющая получить форму огибающей сигнала при заданных условиях распространения.
2. Определение точки прихода донного сигнала на основе анализа сигнала двух разных частот.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:**

1. Буровзрывные работы / П.Я.Торанов. – М.: Недра, 1964. – 258 с.  
В. Т., Мелешко В. В. – Киев: Наук, думка, 1981. – 284 с.Grimaldi, D. (2006). Time-of-flight measurement of ultrasonic pulse echoes using wavelet networks. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 55(1), 5–13.
5. L.Mažeika, V.Samaitis, K.Burnham, K.Makaya. Investigations of the guided wave data analysis capabilities in structural health monitoring of composite objects // ULTRAGARSAS (ULTRASOUND), 2011, Vol. 66 No. 3, pp. 7-12.
6. L. Mažeika, L. Draudvilienė. Analysis of the zero-crossing technique in relation to measurements of phase velocities of the Lamb waves // ULTRAGARSAS (ULTRASOUND), 2010, Vol. 65, No.2, , pp 7-12.
7. Angrisani, L., Baccigalupi, A., & SchianoLoMoriello, R. (2006). A Measurement Method Based on Kalman Filtering for Ultrasonic Time-of-Flight Estimation. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 55(2), 442–448.
8. Gueuning, F. E., Varlan, M., Eugène, C. E., & Dupuis, P. (1997). Accurate distance measurement by an autonomous ultrasonic system combining time-of-flight and phase-shift methods. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 46(6), 1236–1240.
9. Huang, K., & Huang, Y. (2009). Multiple-frequency ultrasonic distance measurement using direct digital frequency synthesizers. Sensors and Actuators A: Physical, 149(1), 42–50.
10. Huang, S. S., Huang, C. F., Huang, K. N., & Young, M. S. (2002). A high accuracy ultrasonic distance measurement system using binary frequency shift-keyed signal and phase detection. Review of Scientific Instruments, 73(10), 3671.
11. Angrisani, L., Baccigalupi, A., & Lo Moriello, R. S. (2006). Ultrasonic time-of-flight estimation through unscented Kalman filter. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 55(4), 1077–1084.

12. New generation acoustic borehole depth guide [Electronic resource] / E. M. Shulgin, Yu. V. Shulgina (Chiglintseva); sci. adv. A. I. Soldatov, M. V. Kuimova // Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность : сборник трудов V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Томск, 25-29 мая 2015 г. в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Т. 2. — [С. 466-469].

13. The increase of ultrasound measurements accuracy with the use of two-frequency sounding [Electronic resource] / Yu. V. Shulgina [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2015. — Vol. 81 : Radiation-Thermal Effects and Processes in Inorganic Materials. — [012103, 6 p.].

14. Measurement error reducing in the ultrasound time-pulse systems [Electronic resource] / A. I. Soldatov [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2015. — Vol. 81 : Radiation-Thermal Effects and Processes in Inorganic Materials. — [012117, 10 p.].

15. Influence of the echo shapes on the result of tomographic image [Electronic resource] / P. V. Sorokin [et al.] // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), Russia, Omsk, May 21-23, 2015 : proceedings. — IEEE, 2015. — [4 p.].

16. Влияние уровня срабатывания компаратора на точность ультразвуковых измерений при двухчастотном методе зондирования / О. В. Булгакова, Ю. В. Шульгина // Электронные и электромеханические системы и устройства : XIX научно-техническая конференция, Томск, 16-17 апреля 2015 г. тезисы докладов. — Томск: Поллюс, 2015. — С. 68-70.

17. Определение временного положения эхо-импульса методом двухчастотного зондирования [Электронный ресурс] = Detecting the echo-impulse position by the dual-frequency sensing method / Ю. В. Шульгина [и др.] // Контроль. Диагностика. — 2014. — № 13. — [С. 152-154].

18. Mathematical analysis of the echo-impulse position detection by the dual-frequency sensing method [Electronic resources] / Yu. V. Shulgina [et al.] //

Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS) : proceedings of the International Conference, Tomsk, 16-18 October, 2014 / National Research Tomsk Polytechnic University (TPU) ; Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). — [S. l.]: IEEE, 2014. — [4 p.].

19. Shulgina Y. V. , Soldatov A. A. , Shulgin E. M. , Stepanova A. V. The echo-impulse position detection by the dual-frequency sensing method // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON) : proceedings, Omsk, May 21-23, 2015. – Новосибирск: IEEE Russia Siberia Section, 2015 – p. 1-3

20. Солдатов А. И. , Шульгина (Чиглинцева) Ю. В. , Солдатов А. А. , Дичев Н. В. Способ компенсации погрешности измерения ультразвукового локатора: Патент 2544310 Российская Федерация; Опубликовано 20.03.2015

21. Солдатов А. И. , Шульгина (Чиглинцева) Ю. В. , Солдатов А. А. , Дичев Н. В. Устройство компенсации погрешности измерения ультразвукового скважинного глубиномера: Патент 2544311 Российская Федерация; Опубликовано 20.03.2015.

22. Шульгина, Юлия Викторовна. Повышение точности определения временного положения эхо-импульса [Электронный ресурс] / Ю. В. Шульгина, А. И. Солдатов; науч. рук. А. И. Солдатов // Современные техника и технологии : сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 12-16 апреля 2010 гв 3 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 2010. — Т. 1. — [С. 288-289].

23. Шульгина, Юлия Викторовна. Повышение точности ультразвуковых измерений методом двух компараторов [Электронный ресурс] / Ю. В. Шульгина, А. И. Солдатов // Известия Южного федерального университета. Технические науки : научно-технический и прикладной журнал. – 2010. – Т. 110, № 9. – [С. 102-106].

24. Шульгина, Юлия Викторовна. Ультразвуковой скважинный глубиномер нового поколения / Ю. В. Шульгина, А. И. Солдатов //

Физические основы диагностики материалов и изделий и приборов для ее реализации : материалы Всероссийской научно-технической конференции (12-13 ноября 2010 г.). – Тюмень: ТюмГНГУ, 2010. – С. 6-9.

25. Определение временного положения эхо-импульса методом аппроксимации огибающей, описываемой полиномами второй и третьей степени / С. А. Шестаков [и др.] // Электронные и электромеханические системы и устройства : XVIII научно-техническая конференция, 22-23 апреля 2010 г. тезисы докладов. — Томск: Полюс, 2010.

26. Теоретическое и экспериментальное исследование акустического тракта скважинного глубиномера [Электронный ресурс] / А. И. Солдатов, Ю. В. Чиглинцева // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ] / Томский политехнический университет (ТПУ). – 2009. – Т. 315. № 4: Энергетика. – [С. 85-89].

27. Шульгина, Юлия Викторовна. Повышение точности измерения скважинных глубиномеров [Электронный ресурс] / Ю. В. Чиглинцева; науч. рук. А. И. Солдатов // Современные техника и технологии : сборник трудов XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 4-8 мая 2009 г в 3 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 2009. – Т. 1. – [С. 265-266].

28. Ultrasonic Borehole Depth-Gauge [Electronic resources] / A. I. Soldatov, J. V. Shulgina (Chiglintseva) // International Siberian Conference on Control and Communications. Sibcon-2009 : proceedings Russia, Tomsk, March 27-28, 2009. – Tomsk: 2009. – [P. 313-317].

29. Повышение точности акустических измерений методом при детектировании сигнала одним компаратором [Электронный ресурс] / О. Ю. Терентьева, Ю. В. Шульгина // Неразрушающий контроль : сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции "Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность", Томск,

23-27 мая 2016 г.в 3 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 2016. – Т. 2. – [123-125 с.].

30. Повышение точности акустических измерений при использовании метода двух компараторов [Электронный ресурс] / Юй Пэнчао, Шульгина Ю.В; науч. рук. Ю. В. Шульгина // Неразрушающий контроль : сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции "Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность", Томск, 23-27 мая 2016 г.в 3 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 2016. – Т. 2. – [178-181 с.].

31. Повышение точности акустических измерений / О.Ю. Терентьева, Ю.В. Шульгина // Материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР», Томск, 25-27 мая 2016 г. в шести частях. – 2016. – Т. 2. – 93-95с.

32. Математическое моделирование акустических сигналов методом геометрической акустики / А.Л. Старостин, Ю.В. Шульгина // Материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР», Томск, 25-27 мая 2016 г. в шести частях. – 2016. – Т. 2. – 90-93с.

33. Shulgina Y.V., Starostin A.L., Kostina M.A., Mylnikova T.S., Soldatov A.I. – Simulation of acoustic signals in a waveguide of circular cross section// Mechanical Engineering, Automation and Control Systems: Proceedings of International Conference, Tomsk, December 1-4, 2015. – Tomsk: TPU Publishing House, 2015 – p. 1-4.

34. Shulgina Y.V., Soldatov A.A., Shulgin E.M., Kudryashova A.V. – Acoustic borehole depth-gauge with the dual-frequency sensing method // Source of the Document 2016 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2016: proceedings, 12-14 May 2016.

35. Shulgina, Y.V., Sorokin, P.V., Kostina, M.A., Shulgin, E.M., Rozanova, Y.V. – Distance determination based on dual frequency method with phase correction // 2017 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2017 – Proceedings. 29-30 June 2017.

36. RU 2016618647 «Программа расчета временной координаты начала эхо-сигнала при двухчастотном зондировании» по заявке 2016616269 от 14.06.2016, опубл. 20.08.2016 / Солдатов А.И., Шульгина Ю.В., Сорокин П. В., Солдатов А.А.

37. Патент RU 2 599 602 С1 «Способ компенсации погрешности измерения ультразвукового локатора» по заявке № 2015122824/28 от 15.06.2015, опубл. 10.10.2016, Бюл. № 28/ Солдатов А.И., Шульгина Ю.В., Солдатов А.А., Сорокин П.В., Солдатова М.А.

38. Патент RU 2 596 907 С1 «Устройство компенсации погрешности измерения ультразвукового локатора» по заявке №2015122093/28 от 09.06.2015, опубл. 10.09.2016, Бюл. № 25 / Солдатов А.И., Шульгина Ю.В., Солдатов А.А., Сорокин П.В., Солдатова М.А., Шульгин Е.М.

39. Королев М.В. Безэталонные ультразвуковые толщиномеры / М.В. Королев. – М.: Машиностроение, 1985. – 80 с.

40. Физическая акустика / Под ред. У.Мезона. //Том I. Методы и приборы ультразвуковых исследований / Москва: Изд-во Мир, 1966. – 588 с.

41. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля / И.Н. Ермолов. – М.: Машиностроение, 1981. – 240 с.

42. Шишаев В.А. Акустический глубиномер (АГМ) – прибор для измерения длины скважин / Шишаев В.А., Белоглазов М.И. // Энциклопедия КНЦ РАН. Т.2, "Инновационный потенциал КНЦ РАН". 2005. – Апатиты. – Изд. КНЦ РАН. – С.307-311.

43. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. В 2-х книгах. Под ред. В.В.Клюева. – 2-е издание. – М.: Машиностроение, 1986. 352 с.

44. Соловьянова И.П. Теория волновых процессов: Акустические волны [Текст]: Учебное пособие / Соловьянова И.П., Шабунин С.Н. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. – 142 с.
45. Нобл, Б. Применение метода Винера-Хопфа для решения дифференциальных уравнений в частных производных. / Б. Нобл. - М. : ИЛ, 1962. – 280с.
46. Л.Левин. Теория волноводов. Методы решения волноводных задач [Текст] : переводное издание / Л. Левин; пер. с англ. - М. : Радио и связь, 1981. - 312 с.
47. Мэзон У. Физическая акустика. Методы и приборы ультразвуковых исследований [Текст]/ Под ред. У. Мэзона. - М.: Мир, т. 1, ч. А, 1966. с.10-11.
48. Теория и практика ультразвукового контроля / И.Н. Ермолов. — М.:Машиностроение, 1981. — 240 с.
49. Коротков М.М. Ультразвуковая толщинометрия: учебное пособие /М.М. Коротков – Томск: Изд. ТПУ, 2008 – 94 с.
50. Красильников В. А. Звуковые и ультразвуковые волны в воздухе, воде и твердых телах. 3-е изд. М., 1960.
51. ООО «Кольцо-энерго»//[Электронный ресурс] – 2010 – режим доступа: <http://beznapki.com/ru/ultrasound> – дата доступа – 05.05.2015 г.
52. Горная энциклопедия//[Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/> – дата доступа – 30.04.2018 г.
53. Андре Анго. Математика для электро- и радиоинженеров. – М.: Наука, 1965. – 779 с.
54. Как правильно измерить глубину скважины//[Электронный ресурс] – режим доступа: <http://moyaskvazhina.ru/burenie/kak-izmerit-glubinu-skvazhiny.html> – дата доступа – 30.04.2018 г.
55. Контроль качества авиационных деталей из полимерных композитных материалов и многослойных клеевых конструкций // В.В.

Мурашов, Е.И. Косарина, А.С. Генералов / Авиационные материалы и технологии. – 2013 . – №3. – [С. 65–70].

56. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах. 2-е изд. М., 1973.

57. Красильников В.А., Крылов В.В. Введение в физическую акустику. М.: Наука, 1984. — 403 с.

58. Лепендин Л.Ф. Акустика Москва, «Высшая школа», 1978. – 448 с.

59. Физический энциклопедический словарь/Гл. ред. А. М. Прохоров . Ред. коллегия Д. М. Алексеев, А. М. Бонч-Бруевич, А. С. Боровик-Романов и др. — М.: Сов. энцикл., 1983. — 928 с., стр. 113

60. C-ALS borehole-deployable laser scanner for concealed cavity and void scanning. // [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://moyaskvazhina.ru/burenie/kak-izmerit-glubinu-skvazhiny.html> – дата доступа – 30.04.2018 г.

61. Справочник по горнорудному делу // Под ред. акад. А.М. Терпигорева и проф., д.т.н. Р.П. Каплунова — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу, 1961. — 857 с.

62. Подготовка горных пород к выемке. Ч. 1.: Учебное пособие // Репин Н.Я.— М.: «Мир горной книги», Издательство Московского государственного горного университета, 2009. – 188с.

63. Шевцов Н.Р., Таранов П.Я., Левит В.В., Гудзь А.Г. Разрушение горных пород взрывом: Учебник для вузов. – 4-е издание переработанное и дополненное – Донецк: , 2003. – 253 с.

64. Сулакшин С.С. Бурение геологоразведочных скважин. 1994г.

65. А.Г. Калинин, В.И. Власюк, Р.М. Скрыбин, О.В. Ошкордин. Технология бурения разведочных скважин. – М.: Издательство «Техника», ТУМА ГРУПП, 2004. – 528с.

66. Горная энциклопедия. — М.: Советская энциклопедия. Под редакцией Е. А. Козловского. 1984—1991.

67. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Ч. 1. Разрушение горных пород взрывом: Учебник для вузов. – М.: Изд-во «Горная книга», 2012. – 471 с.

68. Технологии и безопасность взрывных работ/ Л.В. Баранов, В.В. Першин, А.П. Муратов, В.М. Колмогоров: Справочное пособие. – М.: Недра, 2012. – 237 с.

69. Единые правила безопасности при взрывных работах. – ГУП «НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России». – М., 2014.

70. Портола В.А. Безопасность ведения горных работ и горноспасательное дело: учебное пособие / В.А. Портола, П.В. Бурков, В.М. Гришагин, В.Я. Фарберов. – Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 201 с.

71. Масаев, Ю.А. Технология и безопасность взрывных работ в практических задачах: учеб. пособие / Ю.А. Масаев, Першин; ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2007. – 204 с.

72. Безопасность взрывных работ в промышленности / под ред Б.Н. Кутузова. – М.: Недра, 2009. – 544 с.

73. Справочник по буровзрывным работам / М. Ф. Друкованный, Л. В. Дубнов, Э. О. Миндели и др. – М.: Недра, 1976. – 631 с.