

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ КАПЕЛЬ ЖИДКОСТИ, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ

Аналогичным образом производится калибровка системы контроля в варианте использования функции преобразования (8). Отличие заключается в том, что в этом случае измеряются не только значения вносимых напряжений U_{\max} , соответствующие нулевым значениям расстояний h_{x1} и h_{x2} , но и значения вносимых напряжений U_i , соответствующие фиксированным значениям расстояния h_i , задаваемых при калибровке специальными образцовыми мерами.

Вывод

В результате проведенных исследований разработана система контроля внутреннего диаметра труб, реализующая вихретоковый метод измерительного преобразования. На основе анализа результатов математического и физического моделирования определена функция вычислительного преобразования сигналов ВТП. Разработана методика калибровки системы контроля, позволяющая обеспечивать высокие метрологические параметры системы в широком диапазоне значений электрических и магнитных параметров объекта контроля. Опыт практического использо-

вания системы для контроля внутреннего диаметра труб теплообменников из аустенитных и ферромагнитных сталей показал, что в диапазонах изменений диаметра (15...35) мм и максимального зазора между корпусом преобразователя и поверхностью трубы (1...2,5) мм может быть обеспечена абсолютная погрешность измерений, не превышающая (0,1...0,3) мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль. Справочник. [Текст] / под ред. В.В. Клюева: в 7 томах. Т 2: в 2-х кн.: Кн. 1: Контроль герметичности. Кн. 2: Вихретоковый контроль. – М.: Машиностроение, 2003. – 688 с.

Д.т.н., зав. кафедрой А.Е. Гольдштейн, algol@tpu.ru; к.т.н., доцент В.Ф. Булгаков, bvf49@sibmail.com.; к.т.н., доцент Якимов Е.В., shishkovka@mail.ru; ассистент Уразбеков Е.И., Национальный исследовательский Томский политехнический университет, кафедра информационно-измерительной техники, тел. (3822) 418911.

УДК 66.069.832: 66.084.08

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ КАПЕЛЬ ЖИДКОСТИ, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ

В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, А.В. Шалунова, Р.Н. Голых, Д.В. Генне

В статье представлены результаты экспериментов по определению среднего диаметра, среднеквадратичного отклонения формируемых капель и производительности распыления в зависимости от режимов ультразвукового воздействия (амплитуда и частота) и свойств распыляемых жидкостей (вязкость и поверхностное натяжение). Полученные зависимости позволяют определять все исходные параметры, необходимые для проектирования ультразвуковых колебательных систем ультразвуковых распылителей различных жидкостей.

Ключевые слова: ультразвук, аэрозоль, распыление.

Введение

На сегодняшний день, применение ультразвукового (УЗ) способа распыления ограничивает недостаточное количество научных данных, позволяющих определять дисперсные характеристики формируемых капель жидкости и производительность распыления от свойств жидкости и параметров УЗ воздействия [1,2].

Поэтому для определения размеров формируемых капель жидкости и производительности при различных режимах работы ультразвуковых распылителей и свойствах

жидкостей, был проведен ряд экспериментов заключавшихся:

1. в измерении среднего диаметра формируемых капель в зависимости от амплитуды и частоты УЗ воздействия;
2. в измерении среднего диаметра формируемых капель в зависимости от свойств жидкости (вязкости и поверхностного натяжения);
3. в измерении зависимости производительности распыления в зависимости от частоты УЗ воздействия.

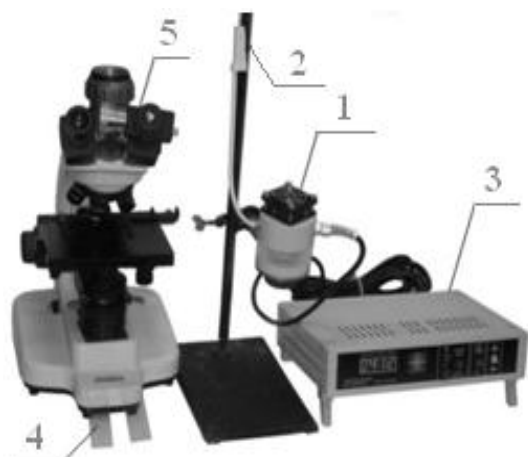
РАЗДЕЛ IV. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Описание измерительного стенда

Для проведения исследований был разработан измерительный стенд, показанный на рисунке 1.

Для измерения размеров частиц при проведении экспериментов предметное стекло 4 покрывалось слоем иммерсионной среды. В качестве такой среды использовалось трансформаторное масло.

После стабилизации работы распылителя, предметное стекло с иммерсионным слоем проносилось равномерно через факел распыленной жидкости, нормально к его оси на расстоянии 380 мм. Затем стекло устанавливалось на предметный столик микроскопа 5 и производилось микрофотографирование капель распыленной жидкости. Далее снимки передавались на персональный компьютер, где с помощью разработанной компьютерной программы распознавания графических объектов, определялись средние диаметры капель.



1 – ультразвуковой распылитель; 2 – дозатор, 3 – генератор, 4 – предметное стекло, 5 микроскоп МИКМЕД-6.

Рисунок 1 – Измерительный стенд для определения дисперсного состава формируемых капель жидкости

Для проведения экспериментов были использованы 4 ультразвуковых распылителя с рабочими частотами 22 кГц, 44 кГц, 60 кГц и 130 кГц [3].

При проведении экспериментов в качестве распыляемых жидкостей использовались [4]: вода; водные растворы с различной концентрацией глицерина и этилового спирта (для создания жидкостей с различной вязкостью и равным поверхностным натяжением и для создания жидкостей с различным поверхностным натяжением и равной вязкостью соответственно).

Анализ полученных результатов

На рисунке 2 представлены полученные фотографии сформированных капель жидкости. Даже по фотографиям можно говорить о росте диаметра капель с увеличением амплитуды, и его уменьшении при увеличении вязкости.

На основе полученных данных были построены зависимости среднего диаметра и среднеквадратичного отклонения (СКО) формируемых капель от амплитуды колебаний распылительной поверхности, показанные на рисунке 3. Анализ представленных графиков показал, что с увеличением амплитуды колебаний происходит значительный рост среднего диаметра и СКО капель. Аппроксимация полученных зависимостей в область высоких амплитуд колебаний позволила установить более быстрое возрастание СКО диаметров капель для высоких частот и, следовательно, необходимость точного поддержания установленной амплитуды колебаний распылительной поверхности для высоких частот.

Для практического использования полученных результатов была получена зависимость среднего диаметра формируемых капель жидкости от частоты УЗ

воздействия при минимальной амплитуде УЗ колебаний, показанная на рисунке 4.

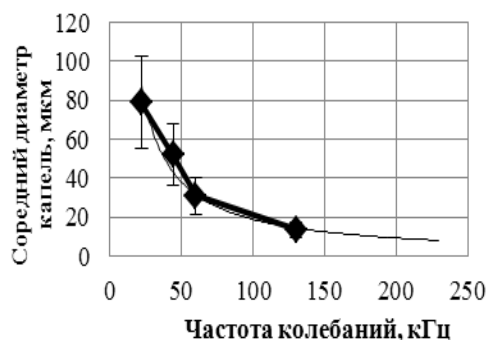


Рисунок 4 – Зависимость среднего диаметра формируемых капель от частоты УЗ воздействия

Представленная зависимость показывает уменьшение диаметров во всем диапазоне исследуемых частот. Проведенная аппроксимация показывает, что начиная с частот от 100 кГц, скорость уменьшения диаметра капель с ростом частоты несколько падает. Полученная зависимость свидетельствует о необходимости повышения частоты УЗ колебаний свыше 100 кГц и создания УЗ колебательных систем, способных обеспечивать на указанных частотах воздействие с амплитудами, достаточными для распыления жидкостей.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3/2, 2012

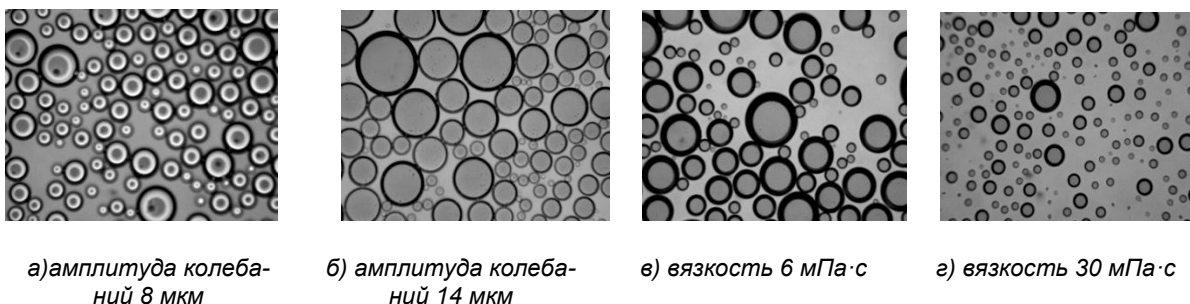


Рисунок 2. Фото капель жидкости полученных на частоте 22 кГц при различных амплитудах УЗ колебаний (а,б) и вязкости 1 МПа·с и при амплитуде УЗ колебаний 11 мкм и различной вязкости (в,е)

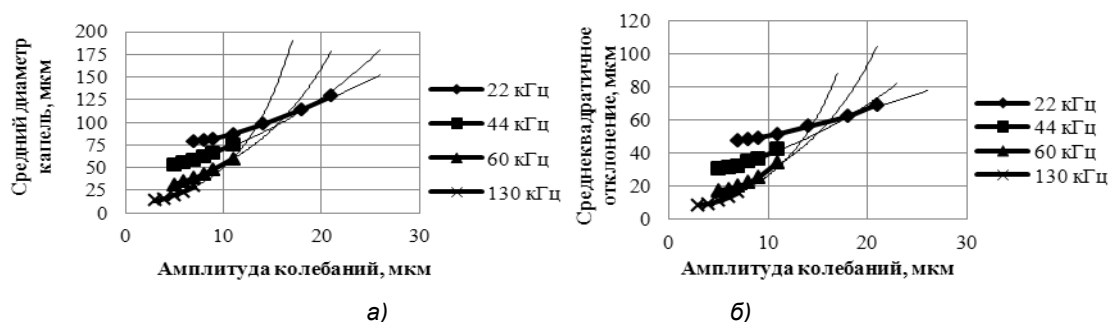


Рисунок 3 – Зависимость среднего диаметра формируемых капель(а) и СКО(б) от амплитуды УЗ воздействия

Полученная зависимость является базовой, необходимой для начального определения рабочей частоты распылителя, обеспечивающего формирование капель с требуемым средним диаметром.

Для обеспечения производительности, достаточной для практического использования ультразвукового распыления жидкостей, необходимо увеличивать амплитуду УЗ колебаний. Но как было экспериментально установлено, увеличение амплитуды колебаний приводит к увеличению среднего диаметра и СКО формируемых капель. Это обуславливает необходимость определения амплитуды УЗ колебаний распылительной поверхности, при которой обеспечивается необходимая производительность распыления, но СКО и средний диаметр формируемых капель не превышают установленных значений. Для этого были измерены значения удельной производительности распыления в зависимости от амплитуды колебаний, для всех исследуемых частот УЗ воздействия, показанные на рисунок 5.

Как следует из графиков, после некоторого значения амплитуды рост производительности практически прекращается. При этом дальнейшее увеличение амплитуды приводит только к ухудшению дисперсных характеристик формируемых капель.

На основе полученных авторами результатов практического применения УЗ распыления в технологических процессах было установлено [5,6], что их эффективная реализация обеспечивается, если СКО диаметров формируемых капель жидкости не превышает 60%. Это условие выполняется, при выборе амплитуды УЗ колебаний на уровне, обеспечивающем 80% от разницы между максимальной и минимальной производительности распыления. Так для рассматриваемых частот УЗ воздействия 22, 44, 60, 130кГц это будут амплитуды 14 мкм, 8 мкм, 7 мкм и 5 мкм, соответственно.

На рисунке 6 показаны зависимости среднего диаметра и СКО формируемых капель от частоты, измеренные при выявленных амплитудах УЗ колебаний.

Таким образом, были определены зависимости, с помощью которых можно, установить частоту и амплитуду УЗ колебаний, обеспечивающие формирование факела распыления с заданными дисперсными характеристиками.

Далее были определены зависимости среднего диаметра формируемых капель жидкости от ее вязкости и поверхностного натяжения.

На основании проведенных измерений были построены зависимости среднего диа-

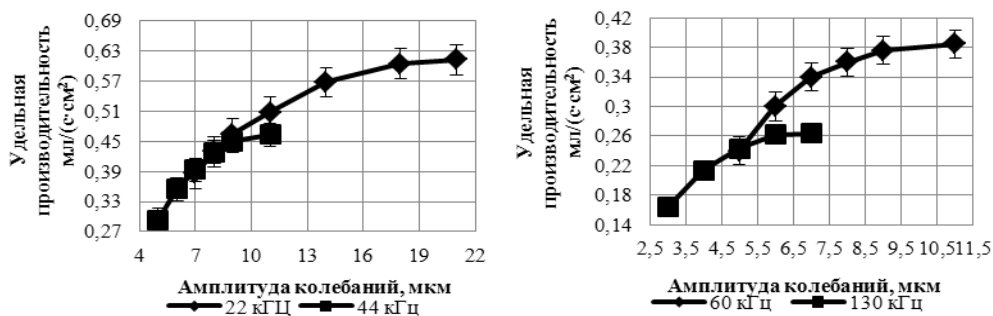


Рисунок 5 – Зависимость производительности распыления от амплитуды УЗ воздействия

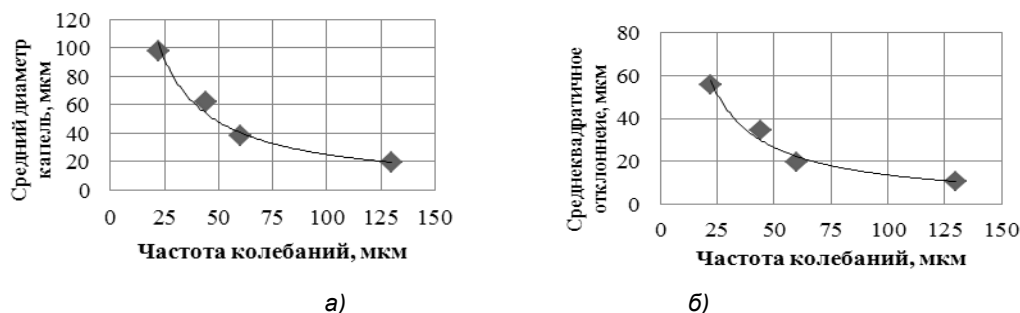


Рисунок 6 – Зависимости среднего диаметра (а) и СКО (б) диаметра формируемых капле от частоты УЗ воздействия

метра и СКО формируемых капле от вязкости жидкости (рисунок 7) и от поверхностного натяжения (рисунок 8), при оптимальных амплитудах колебаний распылительной поверхности.

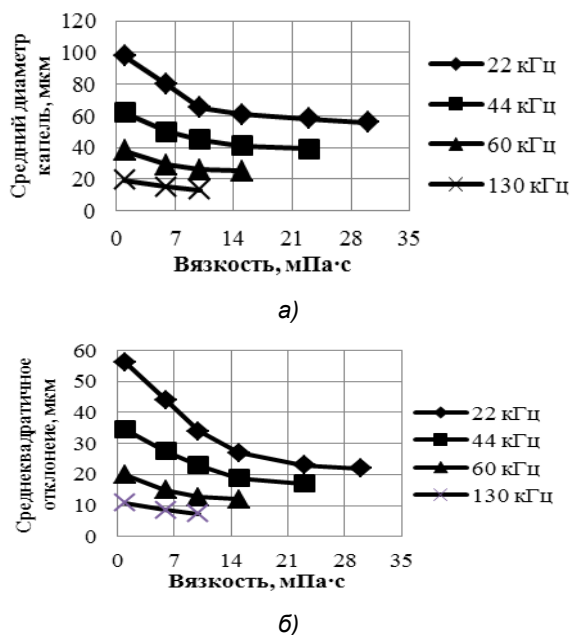


Рисунок 7 – Зависимость среднего диаметра (а) и СКО (б) формируемых капле от вязкости распыляемой жидкости

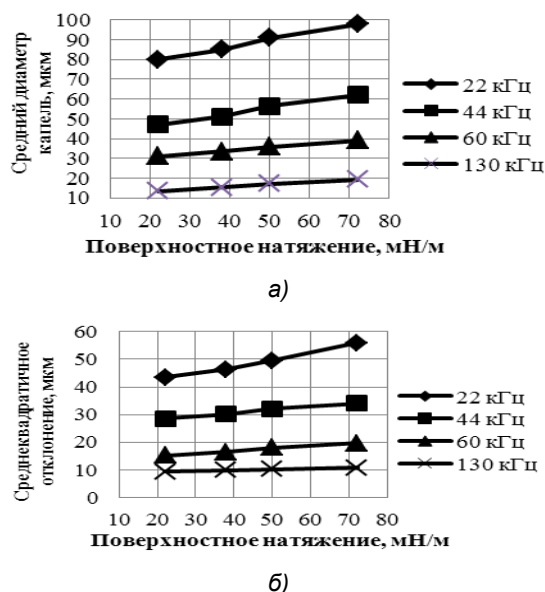


Рисунок 8 – Зависимость среднего диаметра (а) и СКО (б) формируемых капле от поверхностного натяжения распыляемой жидкости

Из рисунка 7 видно, что с ростом частоты уменьшается максимально допустимое значение вязкости распыляемой жидкости. Из графиков на рисунке 8 видно, что при малых поверхностных натяжениях средний диаметр формируемых капле уменьшается. Увели-

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ КАПЕЛЬ ЖИДКОСТИ, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ

чение вязкости жидкости приводит к уменьшению диаметра формируемых капель.

Установлено, что при воздействии УЗ колебаниями на частоте 22 кГц изменение вязкости распыляемых жидкостей в пределах 1–30 мПа·с вызывает уменьшение диаметра формируемых капель с 96 мкм до 56 мкм; на 44 кГц (1–23 мПа·с) с 61 мкм до 39 мкм; на 60 кГц (1–15 мПа·с) – с 38 мкм до 22 мкм; на 130 кГц (1–10 мПа·с) – с 19 мкм до 13 мкм. А изменение поверхностного натяжения в пределах от 22 мН/с до 72 мН/с вызывает увеличение среднего диаметра капель: на частоте 22 кГц – с 80 мкм до 98 мкм; на частоте 44 кГц – с 47,2 мкм до 62 мкм; на частоте 60 кГц – с 31,2 мкм до 38 мкм; на частоте 130 кГц – с 13,4 мкм до 19,3 мкм.

СКО диаметра формируемых капель жидкости при изменении вязкости уменьшается следующим образом на 60%, 59%, 54%, 40% соответственно на частотах 22, 44, 60 и 130 кГц. СКО диаметра формируемых капель жидкости, зависит от поверхностного натяжения. Так при уменьшении поверхностного натяжения с 72 мН/м до 22 мН/м СКО диаметра уменьшается на 24% при частоте УЗ воздействия 22 кГц.

Таким образом, были установлены зависимости формируемых средних диаметров и СКО диаметров формируемых капель жидкости от режимов УЗ воздействия и от свойств самой жидкости. Они могут быть использованы для определения частоты и амплитуды УЗ воздействия при распылении жидкостей различной вязкости и поверхностного натяжения в реальных технологических процессах.

Еще одним параметром, влияющим на эффективность процессов, основанных на распылении жидкости, является производительность распыления.

В ходе экспериментов измерялась максимальная производительность, обеспечиваемая каждым из распылителей. Для этого, при помощи дозатора (см. рисунок 1) расход жидкости устанавливался таким образом, чтобы распыляемая жидкость покрывала всю поверхность рабочего инструмента, но в тоже время не происходило срыва распыления. Объем распыленной жидкости за определенный период времени (120 с.) измерялся мерной колбой.

На рисунке 9 приведена полученная зависимость максимальной удельной производительности распыления от частоты УЗ воздействия. Полученная зависимость может использоваться для определения площади поверхности распыления, необходимой для

обеспечения заданной производительности распыления.

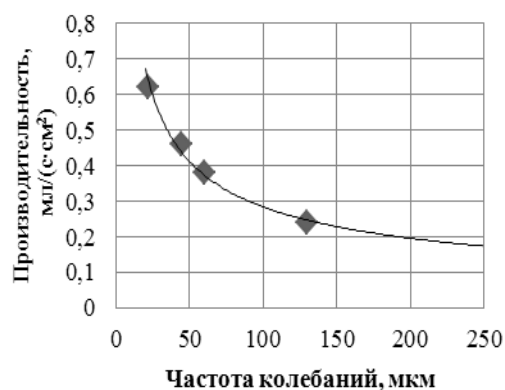


Рисунок 9 – Зависимость удельной производительности распыления от частоты УЗ воздействия

Таким образом, в результате проведенных исследований были получены зависимости дисперсных характеристик факела распыления формируемого при различных режимах УЗ воздействия и свойствах распыляемых жидкостей.

Выводы

Установлено, что с увеличением амплитуды УЗ колебаний происходит значительный рост среднего диаметра и СКО формируемых капель. Установлена целесообразность повышения частоты УЗ колебаний свыше 100 кГц и создания УЗ колебательных систем, способных обеспечивать на указанных частотах воздействие с амплитудами, достаточными для распыления жидкостей.

Выявлены значения амплитуды УЗ колебаний для распыления жидкостей, обеспечивающие достаточную производительность распыления при СКО диаметров формируемых капель жидкости не более 60%. Полученные зависимости диаметров и СКО формируемых капель от свойств жидкости можно использовать для определения изменения среднего диаметра капель, вызванного сменой типа распыляемой жидкости или изменением ее физических свойств.

Установлена зависимость максимальной удельной производительности распыления от частоты УЗ воздействия. Она позволяет определять площадь поверхности распыления, необходимую для обеспечения заданной производительности распыления.

Полученные новые научные данные позволяют определить все исходные параметры, необходимые для проектирования УЗ технологических аппаратов для распыления различных жидкостей.

РАЗДЕЛ IV. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ № МК-369.2011.8 «Разработка и исследование мелкодисперсных распылителей вязких жидкостей на основе новых физических принципов многократного поверхностного и высокочастотного ультразвукового воздействия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новицкий, Б. Г. Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах (Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии) [Текст] / Б. Г. Новицкий. – М.: Химия, 1983. – 192 с.
2. Физические основы ультразвуковой технологии. [Текст] / Под ред. Л.Д. Розенберга. М.: Наука, 1968. – 688 с.
3. Хмелев, В. Н. Ультразвуковое распыление жидкостей [Текст] / В. Н. Хмелёв, А. В. Шалунов, А. В. Шалунова. – Барнаул АлтГТУ, 2010. – 272 с.
4. Краткий справочник физико-химических величин. Изд. 8 / под ред. А.А. Равделя, А.М.Пономаревой. Л.: Химия, 1983 г. – 231 с
5. Хмелев, В. Н. Разработка ультразвуковых диспергаторов жидких сред для распылитель-

ной сушилки [Текст] / В. Н. Хмелев, А. В. Шалунов, А. В. Шалунова // Современные проблемы технической химии. Материалы докладов Всероссийской научно-технической и методической конференции. Секции 5–7. – Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2009. – С. 13–20.

6. Хмелев, В. Н. Ультразвуковой распылитель для химико-механического полирования [Текст] / В. Н. Хмелев, А. В. Шалунов // Современные проблемы радиоэлектроники: сборник научных трудов / под ред. А. И. Громыко, А. В. Сарафанова. – М.: Радио и связь, 2006. – С. 181–184.

Д.т.н., профессор, заместитель директора по научной работе Хмелёв В.Н., тел. (3854) 432581, e-mail: vnh@bti.secna.ru, К.т.н., доцент, доцент Шалунов А.В. тел. (3854) 432570, e-mail: shalunov@bti.secna.ru, инженер Шалунова А.В., тел. (3854)432570, e-mail: shav@bti.secna.ru, студент Голых Р.Н., тел. (3854)432570, e-mail: grn@bti.secna.ru, ведущий инженер Генне Д.В. тел. (3854)432570, e-mail: gdv@bti.secna.ru, – Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ

УДК 550.838

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К СОЗДАНИЮ ПРОТОННОГО МАГНИТОМЕТРА

А.Ю. Гвоздарев, Д. В. Кудин, Е. О. Учайкин

В статье рассмотрена конструкция протонного магнитометра, позволяющая за счет применения низкошумящих компонентов обеспечить качество измерения модуля вектора магнитного поля Земли достаточное для установки в магнитных обсерваториях международной сети INTERMAGNET. В результате исследования характеристик разработанного прибора произведена оценка точности производимых им измерений, которая составляет ± 1 нТл при шуме $\pm 0,5$ нТл в диапазоне магнитного поля от 20 до 70 мкТл.

Ключевые слова: магнитные наблюдения, протонный магнитометр, усилитель сигнала прецессии протонов, прецизионный измеритель частоты

Введение

В исследованиях одного из самых динамичных полей Земли, – геомагнитного, – очень важную роль играют непрерывные измерения на сети магнитных обсерваторий [1]. При этом на каждой станции обычно размещают пару приборов. Вариационный магнитометр феррозондового или магнитомеханического типа служит для регистрации вариаций компонент вектора магнитного поля X, Y, Z относительно некоего базисного уровня (обычно их амплитуда не превышает 1000 нТл). Для измерения модуля вектора магнитной индукции $F = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$ использу-

ются протонные магнитометры, которые работают за счет эффекта свободной ядерной прецессии протонов (ядерной магнитной релаксации - ЯМР). При этом регистрируется магнитный экспоненциально затухающий гармонический сигнал от прецессирующих протонов в рабочем веществе после поляризации его внешним сильным магнитным полем. Частота этой гармоники есть величина, прямо пропорциональная измеряемому магнитному полю через коэффициент γ , равный 23.4874 нТл/Гц. За счет применения квантового эффекта протонные магнитометры обладают важными по сравнению с другими магнитометрами характеристиками - это от-

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3/2, 2012