

УДК 62.50

## ПРОБЛЕМА ТОЧНОСТИ УРОВНЕМЕРОВ КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВА РАКЕТОНОСИТЕЛЕЙ

**Гончаров В.Б.**, аспирант, E-mail: prosto-vlad@rambler.ru

**Ивченко В.Д.**, д.т.н., профессор, E-mail: professor55@rambler.ru

МГТУ МИРЭА, Москва, Россия

**Аннотация.** В работе рассмотрены двухкомпонентные жидкостные ракетные двигатели. Приведены различные методы измерения уровня: механические (поплавковые, буйковые, гидростатические), электрические (емкостные, кондуктометрические, вибрационные), акустические (ультразвуковые), микроволновые (радарные, рефлексные). Более подробно анализируются достоинства и недостатки емкостного и индуктивного методов измерения уровня компонентов топлива в ракетносителях с жидкостными ракетными двигателями, которые используются в данный момент. Рассмотрена задача необходимости разработки нового прецизионного датчика уровня компонентов топлива для современных ракетносителей, использующих двухкомпонентное жидкое топливо. Произведен анализ точности емкостного уровнемера ракетносителя. Предложен метод, который должен реализовать поставленную задачу и повысить точность в десятки раз.

**Ключевые слова.** Уровнемер, непрерывный датчик уровня, жидкостный ракетный двигатель, волноводный метод, точность, емкостной и индуктивный метод.

## PROBLEM OF ACCURACY LEVEL GAUGE CARRIER ROCKET FUEL COMPONENTS

**Goncharov V.B.**, postgraduate, E-mail: prosto-vlad@rambler.ru

**Ivchenko V. D.**, D.ofSci., E-mail: professor55@rambler.ru

MSTU MIREA, Moscow, Russia

**Abstract.** The paper discusses the two-component liquid rocket engines. Shows the different methods of measurement of: mechanical (the float high, buoy, hydrostatic) , electrical (capacitive, conductivity, vibration), acoustic (ultrasonic), microwave (radar, reflex ones).

More detailed analysis of the advantages and disadvantages of capacitive and inductive methods of measuring the level of fuel components in the carrier rocket with liquid rocket engines, which are currently in use.

The problem of the need to develop new precision level sensor fuel components for modern launch vehicles that use two -component liquid fuel. The analysis of the accuracy of a capacitive gauge launcher.

A method is proposed, which is to accomplish the task , and increase the accuracy sit tenfold.

**Keywords.** Transmitter, continuous level sensor, liquid rocket engine-tion, the waveguide method, accuracy, capacitive and inductive method.

Датчик уровня или уровнемер - прибор, предназначенный для определения уровня содержимого в открытых и закрытых резервуарах. Под содержимым подразумеваются разнообразные виды жидкостей, сыпучие и другие материалы. Средства измерения уровня воплощают разнообразные методы, основанные на различных физических

принципах. К наиболее распространенным методам измерения уровня, которые позволяют преобразовывать значение уровня в электрическую величину относятся:

- контактные методы: поплавковый, буйковый, емкостный, гидростатический, магнитострикционный, индуктивный;

- бесконтактные методы: зондирование звуком, электромагнитным или радиационным излучением [1].

Также уровнемеры можно разделить на дискретные и непрерывные; по принципу действия - на механические, электрические, микроволновые, гидростатические, лазерные.

Основные механические уровнемеры - поплавковые, буйковые и гидростатические.

В поплавковых уровнемерах поплавки с постоянным магнитом перемещаются вместе с уровнем жидкости по трубе скольжения, в которой находятся герметизированные магнитоуправляемые контакты. Выходной сигнал - электрический дискретный сигнал. Фактическое положение уровня, различное для веществ с различной плотностью.

Принцип действия буйковых уровнемеров основан на законе Архимеда. Перемещение буйка сообщается измерительной системе и преобразуется в измеряемый уровень. Выходной сигнал - постоянный ток.

Действие гидростатических уровнемеров основано на измерении гидростатического давления столба жидкости, которое пропорционально глубине. Могут быть использованы приборы для измерения давления. Можно измерять уровень агрессивных жидкостей, суспензий и шламов с осадками. Гидростатические уровнемеры дешевы и просты по конструкции, но имеют относительно низкую точность и сложность применения из-за постоянного контакта с измеряемым объектом [2].

Принцип действия электрических уровнемеров основан на различии электрических свойств жидкостей и газов. При этом жидкости могут быть как проводниками, так и диэлектриками. Основным параметром, определяющим электрические свойства проводников, является их электропроводность, а диэлектриков - относительная диэлектрическая проницаемость. В зависимости от выходного параметра датчика уровня (сопротивления, емкости или индуктивности), электрические уровнемеры подразделяются на емкостные, кондуктометрические и вибрационные.

Работа емкостных уровнемеров основана на различии диэлектрической проницаемости жидкостей и воздуха. Изменение диэлектрической проницаемости между электродами изменяет емкость при изменении уровня жидкости. Это изменение емкости

преобразуется в сигнал постоянного тока. Однако такой метод измерения не всегда обеспечивает требуемую точность, в частности, при наличии пены.

Действие кондуктометрического уровнемера основано на измерении сопротивления между электродами, помещенными в измеряемую среду. Выходным параметром преобразователя является его сопротивление или проводимость. Может использоваться только на электропроводных материалах. Погрешности достаточно высоки (5-10 %), поэтому они находят применение в качестве сигнализаторов уровня.

В вибрационных уровнемерах лопасти сигнализатора уровня, испытывая пьезоэлектрическое воздействие, вибрируют на механической резонансной частоте. Затухание колебаний, возникающее вследствие покрытия лопастей датчика жидкостью, формирует сигнал. Применяются для измерения граничных значений жидкостей. Налипание материала на лопасти может привести к остановке процесса измерения.

Принцип действия микроволновых уровнемеров - высокочастотные микроволновые импульсы направляются к поверхности среды. Достигнув поверхности продукта, микроволновые импульсы отражаются от нее. Исходя из времени прохождения импульса, рассчитывается значение расстояния. Не допускается пена, брызги, кипение.

Микроволновым уровнемером является радарный, в котором в результате взаимодействия излученного и отраженного сигналов возникает сигнал разностной частоты, пропорциональной расстоянию от антенны излучателя до поверхности продукта.

Рефлексные или волноводные уровнемеры по принципу работы подобны радарным уровнемерам, но электромагнитный импульс распространяется не в газовой среде, а по специальному зонду - волноводу.

Действие акустических или ультразвуковых уровнемеров основано на измерении времени прохождения импульса ультразвука от излучателя до поверхности жидкости и обратно. При приеме отраженного импульса излучатель становится датчиком. Если излучатель расположен над жидкостью, уровнемер называется акустическим, если излучатель расположен внутри жидкости - ультразвуковым. Электронный блок преобразует время в унифицированный электрический сигнал. Уровнемер может работать с взрывоопасными, агрессивными и вязкими жидкостями с температурой до +120 °С.

В магнитострикционных датчиках уровня поплавков с постоянным магнитом перемещается вместе с уровнем жидкости по трубе скольжения, в которой находится волновод - натянутая проволока из магнитострикционного материала. Недостатки - фактическое положение уровня, различное для веществ с различной плотностью. Можно использовать только в очищенных жидкостях.

Лотовые уровнемеры представляют из себя лот, закрепленный на конце измерительного троса/ленты, который опускается при помощи электромотора в емкость. Как только груз соприкасается с материалом, формируется сигнал. Недостатки - низкая надежность работы в условиях высокой запыленности, а также при работе с мелкодисперсными материалами.

В оптических уровнемерах происходит изменение коэффициента преломления ИК-излучения на границе перехода двух сред. Одна из сред - линза самого датчика, а вторая - непосредственно окружающая среда. Недостатки - ограничено применением в чистых жидкостях, при этом требуется достаточное свободное пространство в месте установки датчика.

В барботерных уровнемерах через барботерную трубку в резервуар подается воздух или инертный газ. Сила давления подачи газа преобразуется в уровень. Из недостатков - вводит в измеряемую жидкость инородное вещество и трудоемкость в обслуживании.

Мембранные уровнемеры имеют принцип действия основанный на измерении гидростатического давления на дне резервуара. Недостатки - применение только при неизменном давлении внутри резервуара.

Главный принцип работы уровнемеров дифференциального давления заключается в измерение разницы давления в нижней и верхней части резервуара выше уровня жидкости. Есть ограничения при измерении уровня суспензий и шламов.

В дисплейсерных уровнемерах используется выталкивающая сила, действующая на поплавков или буюк. С поплавком или буйком жестко связан магнит. Не рекомендуется для измерения уровня отстоя, жидкостей содержащих шлам и твердые взвеси.

Лазерные уровнемеры основаны на измерение временного интервала между излученным и отраженным световым импульсом. Ограничение для мутных жидкостей, сыпучих материалов с различием отражающих свойств частиц. Неприемлемо при наличии пара и в прозрачных резервуарах.

В магнитных уровнемерах поплавков с магнитом двигается вверх и вниз по внутренней части немагнитной трубки, магнитные элементы прикрепленные снаружи, в стеклянной трубке переворачиваются цветной гранью когда магнит достигает их уровня. Не рекомендуется для измерения уровня отстоя, жидкостей содержащих шлам и твердые взвеси.

Действие радиоизотопных основано на поглощении  $\gamma$ -лучей при прохождении через слой вещества. Требуется разрешение на применение.

В байпасных уровнемерах уровень в трубе установленной сбоку резервуара в виде сообщающегося сосуда соответствует уровню в резервуаре. Опасно при применении на резервуарах работающих под давлением.

Ротационные уровнемеры работают по принципу: при контакте лопасти с материалом, происходит останов двигателя. Неприменим для жидкостей, вязких и налипающих материалов, крупных фракций, пылевидных веществ.

Тепловые сигнализаторы состоит из двух температурных датчиков. Один из датчиков измеряет температуру среды. Второй имеет более высокую температуру за счет принудительного нагревания. При появлении протока или увеличении уровня продукта температура нагретого датчика уменьшается. При достижении разности температур заданного порога срабатывает реле. Наличие пены и других образований с теплопередачей отличной от среды измерения приводят к погрешностям.

В визуальных датчиках уровня действие основано на принципе сообщающихся сосудов.

Проанализировав достоинства и недостатки датчиков уровня разных типов, можно сравнить характеристики некоторых распространенных уровнемеров. Классификация уровнемеров по принципу метода измерения и по наличию контакта с измеряемой средой представлена на рис 1. Классификация датчиков уровня представлена на таблице 1. Характеристики представлены в таблице 2.



Рис. 1. Классификация уровнемеров по принципу метода измерения и по наличию контакта с измеряемой средой.

Таблица 1. Классификация датчиков уровня.

Электромеханические →	Зондирующие →	Ратационные
		Вибрационные
	Силометрические →	Лотовые
		Буйковые
		Весовые
Поплавковые		
Магнитострикционные		
Оптоэлектронные →	Фотоэлектрические →	Отражения
		Преломления
		Рассеяния
	Визуальные	
	Светолокационные →	Фазовые
Частотные		
Импульсные		
Электрические →	Емкостные	
	Индуктивные	
	Термоэлектрические →	Терморезисторные
		Термохроматические
		Термопарные
Резистивные		
Кондуктометрические		
Акустические →	Локационные →	Частотные
		Импульсные
	Резонансные	
Диссипативные		
Радиоволновые →	Локационные →	Фазовые
		Частотные
		Импульсные
	Радиоинтерференционные	
	Резонансные →	Эндовибраторные
Коаксиальные		
С запердельным волн-ом		
Гидростатические →	Давления →	Монометрические
		Дифманометрические
	Противодавления →	Барботажные
		Пьезотрубовые

Таблица 2. Сравнительные характеристики уровнемеров.

Тип уровнемеров	Точность измерения, мм	Диапазон измерения, м	Способ измерения	Температура среды, °С	Давление среды, МПа	Цена, у.е.	Измеряемый параметр
Поплавковый	5-50	0,1-15	Контакт	-50 +200	До 2,5	50-1000	Ток, мА
Гидростатический	5-100	0-30	Контакт	-20 +100	До 1	100-2000	Давление, Па
Емкостной	4-50	0,1-10	Контакт	-40 +100	До 2,5	50-1000	Емкость, Ф
Индуктивный	5-100	0,25-10	Контакт	-40 +100	До 2,5	50-1000	Индуктивность, Гн
Резистивный (омический)	1-50	1-10	Контакт	-15 +100	До 10	100-1500	Сопротивление, Ом

Ультразвуковой (акустический)	1-20	0,3-25	Б/контакт	-50 +100	До 2,5	500-3000	Время, с
Магнито-стрикционный	1-2	0,1-10	Контакт	До +450	До 2,5	От 3000	Время, с
Оптические сигнализаторы (фото-электрические)	1-10	0-20	Б/Контакт	До +250	До 20	От 4000	Мощность, Вт
Микроволновой	1-100	0,5-30	Б/контакт	-40 +200	До 10	3000-2000 0	Частота, Гц

На сегодняшний день самым распространенным ракетным двигателем является жидкостный ракетный двигатель (ЖРД). ЖРД - химический ракетный двигатель, использующий в качестве ракетного топлива жидкости, в том числе сжиженные газы. По количеству используемых компонентов различаются одно-, двух- и трехкомпонентные ЖРД. Большинство жидкостных ракетных двигателей работает на двухкомпонентном топливе. На борту ракеты компоненты хранятся отдельно, в разных баках, и соединяются только в камере сгорания. В качестве горючего могут применяться керосин, спирты и другие вещества. Окислительным компонентом могут служить кислоты с большим содержанием кислорода, например азотная кислота, а также другие вещества: четырехокись азота, жидкий кислород и т. д. К жидким топливам предъявляются следующие специфические требования: более широкий температурный интервал жидкого состояния, пригодность одного из компонентов для охлаждения жидкостного РД (термическая стабильность, высокая температура кипения и теплоемкость), возможность получения из основных компонентов генераторного газа высокой работоспособности, минимальная вязкость компонентов и малая зависимость ее от температуры.

К преимуществам ЖРД можно отнести:

- Самый высокий удельный импульс в классе химических ракетных двигателей (свыше 4 500 м/с для пары кислород-водород, для керосин-кислород - 3 500 м/с).
- Управляемость по тяге: регулируя расход топлива, можно изменять величину тяги в большом диапазоне и полностью прекращать работу двигателя с последующим повторным запуском. Это необходимо при маневрировании аппарата в космическом пространстве.
- При создании больших ракет, например, носителей, выводящих на околоземную орбиту многотонные грузы, использование ЖРД позволяет добиться весового преимущества по сравнению с твердотопливными двигателями (РДТТ). Во-первых, за счет более высокого удельного импульса, а во-вторых за счет того, что жидкое топливо на ракете содержится в отдельных баках, из которых оно подается в камеру сгорания с помощью насосов. За счет этого давление в баках существенно (в десятки раз) ниже, чем

в камере сгорания, а сами баки выполняются тонкостенными и относительно легкими. В РДТТ контейнер топлива является одновременно и камерой сгорания, и должен выдерживать высокое давление (десятки атмосфер), а это влечет за собой увеличение его веса. Чем больше объем топлива на ракете, тем больше размер контейнеров для его хранения, и тем больше сказывается весовое преимущество ЖРД по сравнению с РДТТ, и наоборот: для малых ракет наличие турбонасосного агрегата сводит на нет это преимущество [3].

Недостатки ЖРД:

- ЖРД и ракета на его основе значительно более сложно устроены, и более дорогостоящи, чем эквивалентные по возможностям твердотопливные (несмотря на то, что 1 кг жидкого топлива в несколько раз дешевле твердого). Транспортировать жидкостную ракету необходимо с большими предосторожностями, а технология подготовки ее к пуску более сложна, трудоемка и требует больше времени (особенно при использовании сжиженных газов в качестве компонентов топлива), поэтому для ракет военного назначения предпочтение в настоящее время оказывается твердотопливным двигателям, ввиду их более высокой надежности, мобильности и боеготовности.

- Компоненты жидкого топлива в невесомости неуправляемо перемещаются в пространстве баков. Для их осаждения необходимо применять специальные меры, например, включать вспомогательные двигатели, работающие на твердом топливе или на газе.

В настоящее время для химических ракетных двигателей (в том числе и для ЖРД) достигнут предел энергетических возможностей топлива, и поэтому теоретически не предвидится возможность существенного увеличения их удельного импульса, а это ограничивает возможности ракетной техники, базирующейся на использовании химических двигателей.

Из-за технологического разброса гидравлических сопротивлений трактов горючего и окислителя соотношение расходов компонентов у реального двигателя отличается от расчетного, что влечёт за собой снижение тяги и удельного импульса по отношению к расчетным значениям. В результате ракета может так и не выполнить свою задачу, израсходовав полностью один из компонентов топлива. На заре ракетостроения с этим боролись, создавая гарантийный запас топлива. Гарантийный запас топлива создаётся за счёт полезного груза. В настоящее время большие ракеты оборудуются системой автоматического регулирования соотношения расхода компонентов, которая позволяет поддерживать это соотношение близким к расчетному, сократить, таким образом, гарантийный запас топлива, и соответственно увеличить массу полезной нагрузки.



В настоящее время, в качестве компонентов топлива в некоторых современных ракетносителях используют керосин (горючее) и жидкий кислород (окислитель). Для измерения уровня компонентов топлива используются дискретные емкостные и индуктивные датчики. Информация об уровне топлива необходима для поддержания оптимального соотношения компонентов топлива для корректной работы двигателей ракетносителях в полете и определения оптимальных запасов окислителя и горючего, направляемых на стартовой позиции, необходимых для выполнения задачи [4].

Емкостной метод контроля уровня топлива основан на изменении величины емкости специального конденсатора, помещенного в бак, при прохождении через него уровня компонентов топлива. Каждый датчик имеет несколько чувствительных элементов расположенных в трубе успокоителя на заданных расстояниях по высоте бака. При прохождении уровня компонента топлива через чувствительный элемент, меняется его емкость. Изменение емкости воспринимается усилительно-преобразовательным устройством. Используются, как правило, датчики с количеством чувствительных элементов около десяти. Любое перемещение уровня компонентов топлива между чувствительными элементами не фиксируется.

Индуктивный метод контроля уровня топлива основан на электрическом измерении положения поплавка относительно чувствительных элементов датчика. Датчик представляет собой штангу с катушками индуктивности с разомкнутым магнитопроводом, заключенную в герметичную трубу, по которой перемещается поплавок. Перемещаясь, поплавок увеличивает индуктивность катушек. Уровень топлива определяется по положению сработавших индуктивностей.

Одним из существенных достоинств емкостных датчиков, по сравнению с индуктивными, является отсутствие подвижных частей, что важно при эксплуатации. Недостатками емкостных датчиков является необходимость применения специальных мер для обеспечения пожаро- и взрывобезопасности, подверженность влиянию электромагнитных помех. При применении индуктивных датчиков необходимо принимать специальные меры для предотвращения заклинивания поплавка во время штатной работы изделия.

Учитывая эти недостатки, можно сформировать следующую задачу: построение непрерывного датчика уровня жидкости, способного заменить емкостные и индуктивные дискретные датчики уровня. Его применение позволит достичь экономии компонентов топлива, реализуя более точные пропорции во время работы двигателя, достичь максимального быстродействия, максимальной полезной нагрузки ракетносителя, увеличения максимального пройденного расстояния в полете, снижения веса ракеты,

увеличения скорости заправки. Дискретные датчики, используемые в данный момент в большинстве ракетоносителей, к сожалению, такую прецизионную задачу выполнять не могут.

Для компонентов топлива жидкостного двухкомпонентного ракетного двигателя, например, керосина и жидкого кислорода, предлагается рассмотреть вариант повышения точности измерения уровней компонентов топлива в полете и при заправке с помощью разработки непрерывного датчика уровня.

После анализа всех применяемых методов измерения компонентов топлива и уровней жидкостей можно сделать следующие выводы: использование нескольких датчиков, например, в авиации, недопустимо в связи с требованиями к массогабаритным показателям и показателям надежности, к тому же подобные датчики не являются непрерывными, хоть и обеспечивают необходимую точность. Поплавковые датчики недопустимы, т.к. подвижные части значительно снижают надежность. Емкостные датчики не дают точной информации о положении измеряемой среды, например, если она находится между чувствительными элементами. Следовательно, чтобы достичь поставленных задач, необходим бесконтактный, непрерывный, надежный, высокоточный, простой, помехозащищенный, пожаро- и взрывобезопасный, имеющий большую электроизоляционную прочность, коррозионностойкий, легкий, имеющий небольшие размеры для монтажа в баке, не имеющий подвижных частей датчик, способный корректно измерять уровень независимо от возмущающих воздействий. Возмущающими воздействиями в данном случае могут быть: колебания поверхности уровней компонентов топлива, изменение температуры, наклоны бака по любым осям, пары, высокое давление и т.п. Для достижения всех условий, можно использовать волноводный датчик уровня, работа которого основана на СВЧ методе. Это новый тип датчиков, который обладает рядом преимуществ. Научная новизна данного варианта измерять расход компонентов топлива ракетоносителей волноводными датчиками, состоит в том, что до сих пор в ракетостроении для данных целей данный метод не использовали.

Волноводные уровнемеры по принципу работы подобны радарным уровнемерам, но отличаются наличием волновода. Как в акустических уровнемерах, используется явление отражения электромагнитных колебаний от плоскости раздела сред жидкость-газ [6]. Датчики не имеют контакта с измеряемым объектом. В волноводных уровнемерах используются несколько типов зондов: стержень, трос, группа тросов, коаксиальный кабель. По форме волноводы могут быть круглые, прямоугольные, Т-образные, Н-образные и сложных форм. Для зондирования рабочей зоны и определения расстояния до объекта контроля здесь используется электромагнитное излучение СВЧ диапазона.

Волноводные уровнемеры способны работать в более жестких условиях: высокие температуры, высокое давление, сильное бурление жидкости, пары и газы над поверхностью жидкости. По сравнению с ультразвуковыми уровнемерами, волноводные способны обеспечить большую точность измерения, обладают меньшей зоной нечувствительности [7].

Принцип действия - микроволновой генератор датчика уровня формирует радиосигнал, частота которого изменяется во времени по линейному закону (линейный частотно-модулированный сигнал). Этот сигнал излучается в направлении измеряемой среды, отражается от нее и часть сигнала, через определенное время, зависящее от скорости света, возвращается обратно в прибор. Излученный и отраженный сигнал смешиваются в датчике уровня, и в результате образуется сигнал, частота которого пропорциональна времени распространения, и, соответственно, длине волновода. Дальнейшая обработка сигнала осуществляется с помощью микропроцессорной системы, которая преобразует в значение уровня наполнения резервуара [3].

Проблема использования одного из стандартных типов волноводов заключается в том, что они будут прекрасно работать со многими веществами, у которых большое значение диэлектрической проницаемости. У данных компонентов топлива диэлектрическая проницаемость очень мала: диэлектрическая проницаемость жидкого кислорода  $\epsilon = 1,46$  и диэлектрическая проницаемость керосина  $\epsilon = 2,1$  [5]. Как следствие, отраженный от поверхности раздела сред сигнал будет достаточно слабым для его последующей обработки, особенно в случае с жидким кислородом при температуре  $-180^{\circ}\text{C}$ . В таблице 3 приведены расстояния чувствительных элементов и объем содержимого для уровнемера одного реального ракетносителя в трубе успокоителя для бака с горючим (керосин):

Таким образом, максимальный и минимальный объем между чувствительными элементами будет равен:  $V_{c11-c12}=1,104 \text{ м}^3$  (примерно 1000 литров),  $V_{c4-c5}=6,067 \text{ м}^3$  (примерно 6000 литров). Длина бака = 6225 мм, ширина бака = 2900 мм, объем бака =  $44,7 \text{ м}^3$ , или 44700 литров. Объем до первого чувствительного элемента равен:  $V_{c1}=42,28 \text{ м}^3$ , объем до второго чувствительного элемента равен:  $V_{c2}=39,56 \text{ м}^3$ , объем между 1 и 2 чувствительными элементами равен:  $\Delta c1-c2=2,72 \text{ м}^3$  или 2720 литров. Другими словами применяемый в данный момент датчик достаточно неточен и следующий чувствительный элемент сработает только когда бак наполнится или опорожнится на 2720 литров. Применяв волноводный датчик можно поставить задачу повысить точность в несколько порядков. Прогнозируемая точность волноводного датчика:  $\Delta=0,071 \text{ м}^3$  (примерно 7 литров).

**Таблица 3. Расстояния и объем содержимого между чувствительными элементами бака с горючим.**

Обозначение чувствительного элемента	Расстояние чувствительных элементов, мм	Объем содержимого, м <sup>3</sup>	Обозначение интервала между чувствительными элементами	Расстояние между чувствительными элементами, мм	Объем содержимого между чувствительными элементами, м <sup>3</sup>
C1	5888,5	42,28	ΔC1-C2	380	2,72
C2	5508,5	39,56	ΔC2-C3	696,7	5,01
C3	4811,8	34,55	ΔC3-C4	633,3	4,55
C4	4178,5	30,00	ΔC4-C5	844,8	6,06
C5	3333,7	23,94	ΔC5-C6	671,3	4,82
C6	2662,4	19,12	ΔC6-C7	662,4	4,76
C7	2000,0	14,36	ΔC7-C8	524	3,76
C8	1476,0	10,60	ΔC8-C9	559,9	4,02
C9	916,1	6,58	ΔC9-C10	348,4	2,5
C10	567,7	4,08	ΔC10-C11	223,9	1,61
C11	343,8	2,47	ΔC11-C12	153,8	1,11
C12	190,0	1,36			

Поэтому предлагается использовать ряд методов и средств для достижения уровня отражённого сигнала приемлемого для его дальнейшей обработки. Волновод сложной формы, специальные покрытия стенок волновода, вспомогательные устройства в волноводе, повышение частоты генератора и т.п.

Таким образом, показана возможность применения для измерения уровней компонентов топлива методов, обеспечивающих отраженный сигнал достаточного уровня для дальнейшей обработки, в частности, волноводного метода. Дальнейшие исследования будут направлены на адаптацию волноводного датчика к измеряемым средам.

### Список литературы

1. Михеев В.П., Просандеев А.В. Датчики и детекторы: Учебное пособие. – М.: МИФИ, 2007. – 172 с.
2. Датчики; под редакцией З.Ю. Готоры и О.И. Чайковского. – Львов: Каменяр, 1995 – 313 с.
3. Галасюк И.Б. Радиоволновый фазовый уровнемер для контроля жидких и сыпучих материалов: Дис. канд.техн.наук – СПб: 2002 – 180 с.
4. Жеглов М.А. Многоканальный дискретный преобразователь уровня жидкости на основе волоконного световода с последовательными изгибами: Дис. канд.техн.наук – М: МАИ, 2009 – 159 с.
5. Горенков А.Ф. Химмотология ракетных и реактивных топлив; под ред. А.А. Браткова – М.: Химия, 1987. – 304 с.
6. Бондарев Б.В., Сидоров Н.И., Соколова Е.Ю. Электромагнетизм. Волновая оптика – М.: Изд-во МАИ, 2001– 162 с.
7. Данилин А.А. Измерения в технике СВЧ: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радиотехника, 2008. – 184 с., ил.