

А. Дзилиев,  
А. Хасянов,  
А. Потапов

## Радарные уровнемеры промышленного назначения

### Проблемы серийного производства

Разрабатывая в 30-е годы военную систему для обнаружения самолетов противника, создатели радиолокаторов вряд ли предполагали, что их детище когда-нибудь будет использоваться для измерения уровня заполнения крупногабаритных резервуаров различными веществами. Тем не менее именно такое нетрадиционное применение радаров получило в последние годы широкое распространение в химической, строительной, металлургической, нефтегазовой и других отраслях промышленности. По всему миру на промышленных предприятиях разного профиля уже десятки тысяч радиолокационных уровнемеров контролируют уровни в разнообразных емкостях – бункерах, цистернах, сilosах, котлах и т.п. И это несмотря на то, что существует множество традиционных методов и средств измерения: от мерной ленты с грузом на конце до изотопных (рентгеновских) датчиков уровня.

**П**ринцип действия радарного уровнемера основан на радиолокационном методе измерения дальности объекта наблюдения, т.е. на облучении контролируемой поверхности радиоволнами и приеме отраженного радиосигнала. При постоянстве скорости и прямолинейности распространения радиоволн расстояние  $D$  между излучателем и отражающей поверхностью зависит от времени распространения радиоволн от антennы до объекта и обратно  $T_3$  (времени запаздывания):

$$D = 0,5CT_3,$$

где  $C$  – скорость распространения радиоволн в свободном пространстве, равная скорости света.

Уровнемеры используют частотный метод определения дальности, при котором время запаздывания определяется путем измерения разности частот сигналов – излучаемого и принятого. Если время  $T_3$  много меньше периода модуляции по частоте  $T_M$ , а разностная частота  $F_p$  много больше частоты модуляции, то справедлива формула

$$D = CT_M F_p / 4F_d,$$

где  $F_d$  – девиация частоты.

Таким образом, в уровнемере с частотно-модулированными колебаниями при фиксированных частоте модуляции и девиации частоты значение дальности до облучаемой поверхности линейно связано с разностной частотой.

В большинстве современных радарных уровнемеров излучение и прием радиоколебаний осуществляются одной приемопередающей антенной. Принятое колебание поступает на смеситель, куда одновременно подается сигнал гетеродина. Образовавшиеся на выходе смесителя колебания разностной частоты подвергаются аналого-

вой и цифровой обработке. Уровень вещества в резервуаре  $H$  определяется простым вычислением разности между максимально возможным значением дальности для данного резервуара  $D_{max}$  и текущим измеренным значением дальности до контролируемой поверхности  $D$ . Дальность  $D_{max}$  соответствует минимальному уровню вещества в резервуаре.

Не имеющий непосредственного контакта с контролируемой поверхностью и практически не реагирующий на изменения параметров среды распространения волн радиолокационный уровнемер универсален. С одинаковым успехом он измеряет уровни самых разных веществ в самых разных условиях. Это могут быть жидкые, вязкие, сыпучие или твердые материалы; вещества с интенсивным парообразованием; плавящиеся либо пылящие среды; резервуары под давлением или с вакуумом, как огромные, так и небольшие.

Предъявляемые к уровнемерам требования определяют состав и степень сложности приемопередающего устройства, а также алгоритмов обработки сигналов. Так, для повышения точности измерения применяется дополнительный – опорный или калибровочный – канал в приемопередающем устройстве. Для учета воздействия температуры на показания прибора в состав уровнемеров включают системы контроля температуры и коррекции показаний по результатам контроля. В конструкциях уровнемеров, работающих в химически агрессивной среде, применяют специальные коррозионно-стойкие мате-

риалы, а в уровнемерах, работающих во взрывоопасных зонах – упроченные взрывонепроницаемые кожухи и т.д. Если еще иметь в виду, что в радарных уровнемерах используется СВЧ-техника, становится очевидным – разработка и производство уровнемеров по плечу только крупным научно-производственным структурам.

На российском рынке наиболее известны иностранные производители радарных уровнемеров, которые предлагают потребителю системы контроля уровня любой мыслимой конфигурации и с широким набором сервисных услуг (вплоть до поставок "под ключ"). Лидирует здесь отделение шведского концерна Saab – Saab Tank Control, которое поставляет уровнемеры для измерения уровня жидкостей в резервуарах хранилищ нефти, сжиженных газов и продуктов нефтепереработки. Продукция этой фирмы отличается высокими метрологическими характеристиками, сохраняющими стабильность в течение всего срока службы без поверок и перекалибровок. Фирма предоставляет широкий ассортимент уровнемеров, различные вспомогательные приспособления и датчики, а также полный перечень услуг при поставке измерителей уровня и систем на их основе.

#### Типовые характеристики уровнемеров серии RTG в системе Saab Tank Radar L/2

Точность	$\pm 1$ мм
Диапазон измерений	0...40 м
Рабочая температура окружающей среды	-40...+65°C
Макс. рабочая температура в резервуаре	+230°C
Давление в резервуаре	до $25 \cdot 10^5$ Па
Взрывозащищенное исполнение	Eexd [ia] II BT4
Зашита от климатического воздействия	по классу IP68
Коррозионная стойкость	

ода активную  
истребителя.  
время усилия  
ной 205 мм.  
о 1300 таких  
хемическое  
бот антenna  
граммой его

ной антенной  
и Raytheon  
м проводит  
ной антенной  
и на  
ем которого  
ны AMSTAR,  
лиевых ИС  
зработанной

№ 11, р. 41

ФАР  
земных  
ортных  
в  
ки

джест

ий самолетов  
ия самолета,  
я оказалась

ания птиц  
дполагается,  
ия, отлетят в  
войны было  
следования,  
ромагнитного  
ют тепловое

более низких  
излучение в  
ивания птиц  
вой частоты.  
му излучению  
ействия такой  
самолета на  
даст больших

ного выбора  
формирование  
ие в ладоши:  
программе  
чен проводят  
в по-разному  
бо сигналы.  
на домашнюю  
зультаты США.  
достаточном

частности для  
локационных  
копления птиц  
дполагается  
радиолокатор

е 10, р. 65, 66

бизнес" 3-4/98

Стоимость приборов такого типа превышает 10 тыс. долл. Именно по этой причине они получили признание преимущественно в экономически благополучной нефтехимической отрасли.

Аналогичную по качеству и ассортименту продукцию предлагают на российском рынке и другие зарубежные компании, например голландская ENRAF, венгерская MMG-AM и др.

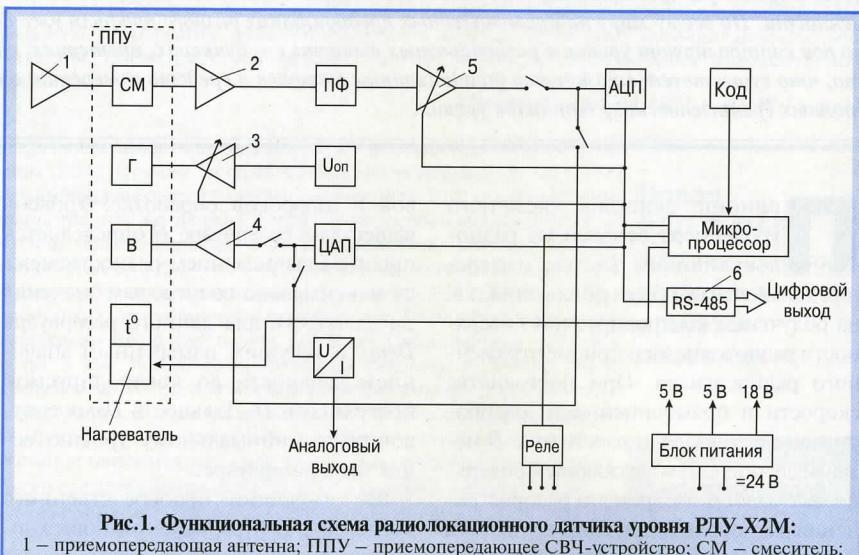
По нашим сведениям, успехи российских производителей радарных уровнемеров гораздо скромнее. Из многих предприятий, которые пытались или пытаются наладить такое производство, можно, пожалуй, отметить рязанский завод «Красное знамя» и каменск-уральское предприятие «Дельта». Однако к серийному производству радарных уровнемеров российские предприятия пока не приступали.

Государственное научно-производственное предприятие «Исток» (г. Фрязино Московской области) в последние годы разработало и небольшими партиями производит несколько типов систем на базе микроволновых уровнемеров. В их числе системы контроля уровня в металлургических конвертерах в процессе выплавки стали; датчики уровня РДУ-Х1 и РДУ-Х2 универсального назначения; датчик определения уровня жидкости в скважинах, обсаженных стальными трубами, и др. Таким образом, «Исток» имеет опыт разработки, производства и продаж радарных датчиков. Опираясь на этот опыт, сотрудники «Истока» попытались оценить собственные возможности, а также возможности покупателей нашей продукции, профиль которых весьма широк — от производства хлебопродуктов до производства цемента. Столь же разнообразны физические и химические свойства веществ, с которыми они работают. Однако возможности этих производств по обновлению основных средств ограничены. Поэтому одно из главных требований к уровнемеру — как можно более низкая его стоимость. Чтобы удовлетворить это требование, пришлось сузить область применения уровнемера именно сыпучими материалами, для которых приемлема точность измерения уровня 10–20 см. Кроме того, подавляющее большинство сыпучих материалов не взрывоопасно, что снимает проблему соответствующего исполнения уровнемеров.

В результате был сформулирован перечень требований к приемлемому как для потребителя, так и для произ-

водителя радарному уровнемеру. Это должен быть недорогой, невзрывозащищенный, нетяжелый и негромоздкий уровнемер невысокой точности, для установки и эксплуатации которого к тому же не нужен специально обученный персонал. Такой прибор был создан специалистами «Истока» на базе уже производимого уровнемера типа РДУ-Х2. Функциональная схема модернизированного радиолокационного датчика уровня РДУ-Х2М приведена на рис. 1.

(ЦАП) и усилителя 4 он формирует напряжение перестройки, подаваемое на варактор (В). Кроме того, микропроцессор управляет работой аналого-цифрового преобразователя (АЦП), на который поступают сигнал с температурного датчика и сигнал смесителя, прошедший через усилители 2, 3 и полосовой фильтр (ПФ), а также коэффициентом передачи усилителя 5 в зависимости от амплитуды отраженного сигнала. В числе других функций микропроцессора — спект-



**Рис. 1. Функциональная схема радиолокационного датчика уровня РДУ-Х2М:**  
1 — приемопередающая антенна; ППУ — приемопередающее СВЧ-устройство; СМ — смеситель; Г — СВЧ-генератор; В — варактор;  $t^{\circ}$  — температурный датчик; 2, 3, 4, 5 — усилители; ПФ — полосовой фильтр; Uоп — источник опорного напряжения; ЦАП — цифроаналоговый преобразователь; U/I — преобразователь напряжение/ток; АЦП — аналого-цифровой преобразователь; Код — датчик кода; 6 — приемопередатчик

Датчик состоит из приемопередающего СВЧ-устройства (ППУ), схемы усиления и фильтрации, схемы цифровой обработки сигнала и блока питания. СВЧ-генератор (Г) работает на частоте 37,5 ГГц в непрерывном режиме. Его перестройку по частоте в пределах 300 МГц осуществляет варактор (В). Сформированные генератором СВЧ-колебания поступают в антенну (1), которая их и излучает. Отраженный сигнал принимается той же антенной и поступает на смеситель (СМ), куда подается также сигнал генератора. Сигнал разностной частоты на выходе смесителя определяет расстояние до контролируемого объекта. ППУ установлено внутри термостата, в состав которого входит нагреватель и температурный датчик ( $t^{\circ}$ ).

Микропроцессор, управляющий работой уровнемера, регулирует напряжение питания СВЧ-генератора путем изменения коэффициента передачи усилителя 3. С помощью цифроаналогового преобразователя

ральная обработка сигнала и селекция помех, вычисление дальности объекта по результатам спектральной обработки, передача результата вычислений на цифроаналоговый преобразователь, управление ключами, а также работой нагревателя по результатам температурных измерений. При необходимости микропроцессор осуществляет обмен данными с центральным компьютером через стандартный интерфейс RS-485.

Приемопередатчик 6 имеет гальваническую развязку. На одну линию передачи могут быть подключены 32 прибора, расстояние между которыми может составлять до одного километра.

Цифроаналоговый преобразователь формирует напряжение, пропорциональное расстоянию до измеряемого объекта. Напряжение преобразуется в выходной токовый сигнал для подачи на регистрирующий прибор. Узел преобразования напряжения в ток (U/I) обеспечивает различные диапазоны: 0–5 мА, 0–20 мА, 4–20 мА.

Дополнение с помо...  
дуальн...  
бирают...  
програм...  
нящих...  
наприм...  
выходн...

При...  
го тока...  
ет рабо...  
При эт...  
ройства...  
лизатор...

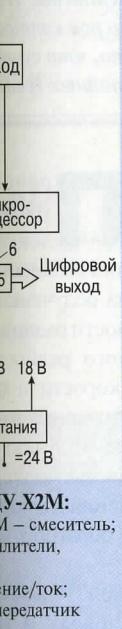
Рабочий...  
Точност...  
Выходн...  
токов...  
цифров...  
два ре...  
напряже...  
потреби...

Отка...  
ющих па...  
версаль...  
ние совр...  
усоверш...  
обеспеч...  
два раза...  
РДУ-Х2...  
пом (РД...  
согабари...  
столько...  
водов...  
увеличи...  
тяжелено...  
конструк...

**ДЗИЛИЕ**  
“И...  
10...  
**ПОТАПО**  
“И...  
**ХАСЯНО**  
ка...  
не...

Интере...  
Институте...  
между дву...  
пластины...  
Как показ...  
толщине г...  
обычно пр...  
уступает т...  
и приеме...  
измерени...  
JETRO,

и формирует  
ки, подавае-  
мое того, мик-  
работой ана-  
образователя  
получают сигнал  
ка и сигнал  
через усили-  
льтр (ПФ), а  
передачи уси-  
т амплитуды  
числе других  
ра – спект-



Дополнительно в уровнемере установлен восьмиразрядный датчик кода, с помощью которого задается индивидуальный номер прибора в сети и выбираются различные варианты рабочей программы из перечня программ, хранящихся в памяти микропроцессора, например смены диапазона измерения, выходного тока и т.д.

Прибор питается от сети постоянного тока +24 В. Блок питания формирует рабочие напряжения +5 В, +18 В. При этом аналоговые и цифровые устройства питаются от раздельных стабилизаторов напряжения.

#### Основные параметры радиолокационного датчика РДУ-Х2М

Рабочий диапазон измеряемых уровней	0...30 м
Точность в диапазоне температур -40...+40°C	±10 см
Выходной сигнал:	
токовый выход	0...5, 0...20, 4...20 мА
цифровой выход	RS 485
Два релейных выхода предельного уровня (нижний и верхний)	
Напряжение электропитания	два варианта: +24 и ~220 В
Потребляемая мощность	25 Вт

Отказ от некоторых дорогостоящих параметров и чрезмерной универсальности уровнемера, применение современной элементной базы и усовершенствованного программного обеспечения позволили примерно в два раза снизить стоимость прибора РДУ-Х2М по сравнению с прототипом (РДУ-Х2), вдвое уменьшить масогабаритные характеристики, во столько же раз сократить число проводов коммуникаций, одновременно увеличив до 1 км их допустимую протяженность. Смягчение требований к конструкции уровнемера, параметрам

отдельных его узлов, в первую очередь самого дорогостоящего – ППУ, значительно удешевило производство прибора, позволило уделить больше внимания первостепенным параметрам – чувствительности, помехоустойчивости, надежности.

Конструктивно радиолокационный датчик РДУ-Х2М выполнен в виде одного блока (рис.2), устанавливаемого с помощью фланцевого соединения на штуцер, патрубок или люк на крышке емкости. В блоке смонтирована

приемопередающая антенна, СВЧ-модуль и модуль обработки сигналов. Максимальный диаметр блока – 170 мм, высота – 260 мм, масса не превышает двух килограммов.

Выбор заказчиком необходимой ему комплектации датчика дает возможность гибко взаимодействовать с потребителем и оптимизировать затраты. Так, заказанный образец может быть укомплектован блоком питания на +24 В или сетевым источником питания ~220 В. При комплектовании возможны варианты выходного сигнала, наличие релейных выходов и т.п.

Для нового прибора в отличие от прототипа (РДУ-Х2) полностью изменены процедуры калибровки, смены выходного тока и диапазона измеряемых уровней. Теперь обслуживающему персоналу достаточно установить необ-



Рис.2. Внешний вид радиолокационного датчика уровня РДУ-Х2М

ходимую комбинацию переключателей на движковом датчике кодов.

В заключение можно констатировать, что выбранный разумный компромисс между затратами на производство уровнемера и его параметрами позволил создать сравнительно недорогой, простой радиолокационный датчик уровня широкого применения, пользующийся спросом даже при сегодняшнем бедственном состоянии промышленных предприятий.

**Координаты для контактов:** 141120,  
г.Фрязино Московской обл.,  
ул. Вокзальная, 2а, ГНПП "Исток".  
Тел. (095) 465-8835, 465-8682;  
факс (095) 465-8867

## Представляем авторов статьи

- ДЗИЛИЕВ Анатолий Павлович.** Окончил политехнический институт в г. Орджоникидзе. Старший научный сотрудник ГНПП "Исток". Сфера профессиональных интересов – ближняя радиолокация, цифровая обработка сигналов. Автор более 10 статей.
- ПОТАПОВ Александр Васильевич.** Окончил Днепропетровский государственный университет. Начальник отделения ГНПП "Исток", кандидат физико-математических наук. Сфера профессиональных интересов – статистическая радиотехника, обработка сигналов. Автор четырех монографий, двух патентов и целого ряда статей.
- ХАСЯНОВ Анвер Фатехович.** Окончил Горьковский государственный университет. Начальник сектора в ГНПП "Исток", кандидат физико-математических наук. Сфера профессиональных интересов – ближняя радиолокация, локация планет, цифровая обработка сигналов. Автор двух патентов и свыше 50 статей.

Интересный метод измерения толщины стальных (даже корродированных) пластин предложен в Институте корабельных исследований при Министерстве транспорта Японии. Пластина заключается между двумя катушками, и через одну из них пропускается ступенчато изменяющийся ток. Толщина пластины определяется по амплитуде наведенного электромагнитным полем тока во второй катушке. Как показали эксперименты, форма волны и время задержки наведенного сигнала соответствуют толщине пластины. С помощью этого метода можно измерять толщину более 1 см. Такие пластины обычно применяются в конструкциях кораблей и подводных лодок. По точности этот метод несколько уступает традиционному, который основан на пропускании слабых колебаний через стальную пластину и приеме отраженных волн. Однако традиционный метод – длительный и трудоемкий, а для измерения безопасной толщины стальной пластины новый метод вполне достаточен.

JETRO, 1997, v.25, N8

**Измерения  
толщины стали  
с помощью  
электро-  
магнитных волн**

**Дайджест**