

Задача измерения уровня является одной из важнейших в системах мониторинга и управления технологическими процессами в отраслях добычи, переработки, хранения и отпуска нефти. При этом характерной чертой современного этапа развития промышленных измерителей уровня является постоянное повышение требований к их метрологическим и эксплуатационным характеристикам, надежности и безопасности функционирования на объектах. Работы по совершенствованию подобных приборов основаны на их периодической модернизации с обязательным учетом опыта промышленного применения, поиске новых технических решений, способных обеспечить высокую эффективность создаваемой аппаратуры.

РАДАРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В СОВРЕМЕННЫХ ЗАДАЧАХ ВЫСОКОТОЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ И ПЕРСПЕКТИВНОЕ ПОКОЛЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РАДАРНЫХ ПРИБОРОВ

Д.Я. НАГОРНЫЙ
В.С. ГУСЕВ
Е.В. МУХИН

зам. начальника СКБ ООО «Предприятие «КОНТАКТ-1»
начальник отдела ООО «Предприятие «КОНТАКТ-1»
зам. начальника отдела ООО «Предприятие «КОНТАКТ-1»

г. Рязань

В последние годы требования к точности уровнемеров в ряде особо ответственных применений (системах коммерческого учета, системах управления резервуарными парками, контроля резервуаров с ценным технологическим сырьем) были существенно ужесточены и на сегодняшний день практически доведены до величины порядка одного миллиметра. Потенциальная возможность реализации указанных показателей точности, а также ряд важных особенностей, присущих радарному (радиолокационному) методу: возможность контроля подавляющего большинства жидкостей, невосприимчивость

к испарениям, пене, высоким давлению и температуре бесконтактный принцип измерений – сделали его практически доминирующим в задачах прецизионного измерения уровня. Эффективность радиолокационных измерителей несомненна и в случае значительной высоты резервуаров (более 6 метров), когда геометрические размеры, вес и обрастание контактных измерительных датчиков уровня становятся серьезным препятствием на пути их использования. Поэтому сейчас высокоточные радиолокационные уровнемеры, выпускаемые ведущими западными производителями и пока еще немногими ►

The task of measuring the level is one of the most important tasks in the systems of monitoring and managing the technological processes in the oil production, refining, storage and delivery. In the meantime, a characteristic feature of the current stage in the development of industrial level measuring devices is an ongoing upgrading of the requirements to their metrological and operational performance, reliability and safety of their functioning at the project sites. The work aimed at improving these instruments is based on their periodic modernization with mandatory consideration given to the experience of their industrial application, on the search of new technological solutions capable of ensuring the high effectiveness of the instrumentation designed.

RADAR TECHNOLOGIES IN DEALING WITH MODERN TASKS OF HIGH ACCURACY LEVEL MEASUREMENTS AND THE PROSPECTIVE GENERATION OF NATIONAL RADAR INSTRUMENTS

D.Ya. NAGORNY Deputy Manager of SKB
OOO Enterprise "CONTACT-1"
V.S. GUSEV Chief of the Department, OOO
Enterprise "CONTACT-1"
E.V. MUKHIN Deputy Chief of the Department,
OOO Enterprise "CONTACT-1", Ryazan

In recent years the requirements applied to the accuracy of level meters in a number of especially critical applications (commercial accounting systems, tank batteries management systems, control of tanks with valuable process feedstock) have been considerably tightened up and today are within an accuracy range of one millimeter. The potential possibility of implementing these accuracy indicators as well as a number of important features, inherent in the radar (radio echo) method, i.e. the ability to control the overwhelming majority of the liquids, insensitivity to evaporations, foam, high pressures and temperature, proximity principle of measurements, have made it virtually dominant in the precision level measurements tasks. The effectiveness of radio echo measuring devices is beyond doubt also in the case of the tanks'

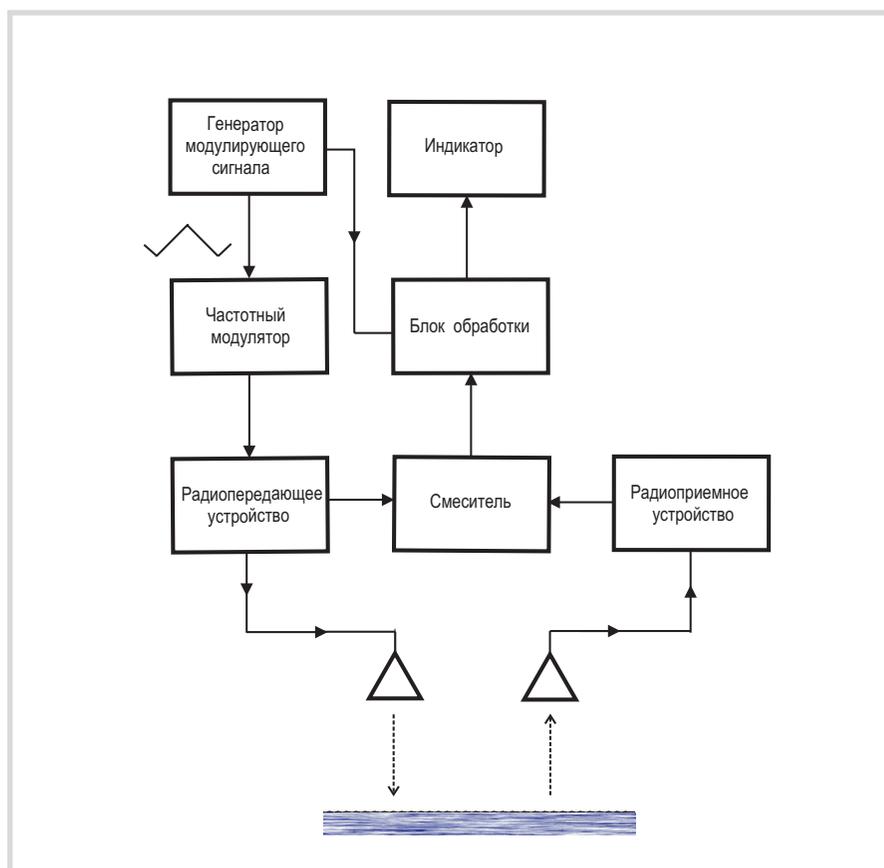


Рис.1 Структурная схема двухантенного радарного уровнемера
Fig. 1 Block Diagram of the Two Antenna Radar Level Meter

considerable height (more than 6 meters), when geometrical dimensions, the weight and the build-up on the contact type level measuring sensors become a serious impediment to their use. Therefore, high precision radio echo level meters produced by the leading Western manufacturers and still by some few Russian firms, are now successfully being used by the companies in Russia, performing all the necessary operations, reliably functioning and fully justifying for the investments.

The operating principle of the radar level meter with continuous emission is based on the use of the frequency modulation method (frequency wobbling) for the signal emitted and corresponds to the operation of a radar. The signal reflected off the surface of the product under control, delayed by the time of propagation, is received by the measuring device again and compared with the one emitted. The result of this operation is the isolation of the differential frequency which is proportional to the time delay of the reflected signal and hence the distance for the product. Evaluation of the differential signal frequency yields the distance value, while the level reading is calculated based on the height of the working tank, entered into the instrument, with reference to the instrument installation flange (Hmax).

A summarized block diagram of such a measuring device is given in Fig.1. The driving of the oscillation emitted is ensured by a radio transmitter connected to a transmitting antenna. The frequency of this oscillation is periodically changed by the frequency modulator according to the symmetrical linear law in line with the controlling signal formula. The reception and the preliminary amplification of the reflected wave are carried out by a receiving antenna and a radio receiver. The isolation of the differential frequency oscillation is made in the mixer. The processing module to compute the current level value. The reading obtained is reflected on the indicator. Underlying the driver portion of the radio echo instruments with a measuring accuracy of 1 mm is the method of digital computational frequency synthesis which allows the emitted signal to be generated in the super high frequency range with frequency wobbling linearity of no worse than $1 \cdot 10^{-6}$ from the oscillations of the reference quartz oscillator. The high linear wobbling ensures receipt of a monochromatic differential oscillation which is sampled on the half of the modulation period.

For precision measurement of this signal's frequency, the spectral method (the frequency is determined by the maximum of the spectral component) had to be used which was implemented in a high productivity digital signal processor. The potential of this method is so vast that, during the measurement process, it allows changes of the differential frequency to be registered in a stable fashion in tenths of a Hertz (for example, a change in the level of the product by 1 mm over a distance of 10 m causes the differential frequency to change by 0.4 Hz only).

российскими фирмами, уже успешно используются на предприятиях России, надежно функционируя и полностью оправдывая вложения.

Принцип действия радарного уровнемера с непрерывным излучением основан на использовании метода частотной модуляции (качение частоты) излучаемого сигнала и соответствует работе радиолокатора. Отраженный от поверхности контролируемого продукта сигнал, имеющий задержку на время распространения, вновь принимается измерителем и сравнивается с излученным. Результатом этой операции является выделение колебания разностной частоты, которая пропорциональна временной задержке отраженного сигнала, а следовательно – дальности для продукта. Оценка частоты разностного сигнала дает значение дальности, а значение уровня рассчитывается по введенной в прибор высоте рабочего резервуара относительно монтажного фланца прибора (Hmax).

Обобщенная структурная схема такого измерителя представлена на рис.1. Формирование излучаемого колебания обеспечивается радиопередающим устройством, соединенным с передающей антенной. Частота этого колебания периодически изменяется частотным модулятором по симметричному линейному закону в соответствии с формой управляющего сигнала. Прием и первичное усиление отраженной волны осуществляется приемной антенной и радиоприемным устройством. Выделение колебания разностной частоты производится в смесителе. Блок обработки выполняет все необходимые операции по вычислению величины текущего уровня. Полученное значение отображается на индикаторе.

В основу задающей части радиолокационных приборов с точностью измерения порядка 1 мм положен метод цифрового вычислительного частотного синтеза, позволяющего из колебания опорного (эталонного) кварцевого генератора формировать излучаемый сигнал в СВЧ диапазоне с линейностью качания частоты не хуже чем $1 \cdot 10^{-6}$. Высоколинейное качание обеспечивает получение монохроматического разностного колебания, выборка которого осуществляется на половине периода модуляции.

Для прецизионного измерения частоты этого сигнала потребовалось применение спектрального метода (частота определяется по максимуму спектральной составляющей), реализованного в высокопроизводительном цифровом сигнальном процессоре. Потенциальные возможности этого метода настолько высоки, что в процессе измерений позволяют устойчиво регистрировать изменения разностной частоты в десятые доли герца (например, изменение уровня продукта на 1 мм на дальности 10 м вызывает изменение разностной частоты всего на 0,4 Гц).

Результатом применения указанного



Рис.2 Уровнемер БАРС351И
Fig. 2 BARS351I Level Meter



Рис.3 Уровнемер БАРС352И
Fig. 3 BARS352I Level Meter



Рис.4 Уровнемер БАРС351И со стержневой антенной
Fig. 4 BARS351I Level Meter with Rod Antenna

технического решения стала разработка и запуск в серийное производство двух приборов – БАРС351И и БАРС352И, различающихся одно- и двухантенной конструкцией (рис.2 и рис.3).

Оба уровнемера имеют практически одинаковые электронные блоки, смонтированные в корпусе с видом взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка». При этом одноантенный прибор предпочтителен для резервуаров с небольшим диаметром патрубка (150 мм), а двухантенный лучше работает на слабоотражающих (для радиоволн) продуктах и продуктах, способных вызывать отложение на поверхности антенн. Таким образом оба прибора удачно дополняют друг друга в отношении эксплуатационных качеств. Для защиты от возможного неблагоприятного воздействия атмосферы резервуара антенны уровнемеров изготавливаются из стойких к агрессивным воздействиям материалов – нержавеющей стали и фторопласта. Для резервуаров с особо узкими патрубками (50 мм) предусмотрено исполнение прибора БАРС351И со стержневой антенной (рис.4).

В настоящее время на предприятиях нефтедобывающего и нефтеперерабатывающего комплекса как правило используется большое разнообразие действующих резервуаров (вертикальных, горизонтальных, шаровых), отличающихся столь же разнообразными конструкциями патрубков, люков и горловин, на которые возможна установка уровнемеров. Для обеспечения максимальной гибкости при адаптации приборов к конкретным условиям применения использован модульный принцип построения уровнемеров, когда единый электронный блок обработки снабжается набором различных антенных устройств с волноводными удлинительными и всевозможными монтажными фланцами (рис. 5). При этом каждый прибор изготавливается индивидуально с учетом особенностей рабочего резервуара на основе данных, представленных заказчиком.

Подобный подход к конструированию

радарных приборов полностью оправдал себя на практике, поскольку позволяет приспособить уровнемер практически к любому размеру подходящего патрубка и тем самым реализовать заявки и потребности подавляющего большинства потребителей.

Немаловажным фактором для новых приборов является простота и доступность их монтажа и настройки на объектах для собственного персонала служб КИПиА предприятий. Сам монтаж приборов на резервуаре связан с обычными рекомендациями и выполняется при соблюдении требований по установке и подключению взрывобезопасного электрооборудования (рис.6).

Каждый уровнемер снабжается программным обеспечением для осуществления пусконаладочных работ, настройки прибора под параметры конкретного резервуара и выполнения одноточечных рабочих измерений. Технические возможности уровнемеров позволяют подключать их к ряду внешних устройств, предназначенных для решения широкого круга производственных задач. Для расширения функциональных и пользовательских качеств приборов разработано специализированное вторичное оборудование – вторичный преобразователь УВП-01 и блок контроля и управления БУК-01 (для одноточечных и многоточечных измерений соответственно). Вторичное оборудование обеспечивает индикацию результатов измерений, позволяет создавать архивы данных и осуществлять учет объемов контролируемых продуктов по тарифовочным таблицам резервуаров.

Имеется и собственное программное обеспечение для создания АСУ управления резервуарными парками на основе группы радиолокационных уровнемеров как первичных датчиков уровня.

Современные резервуарные парки представляют собой сложные комплексы оборудования и сооружений, обеспечивающие хранение и перемещение различных видов жидких продуктов. Бесконтактный принцип измерений и универсальность ►

The result of implementing the above technical solution was the development and launch into volume production of two instruments, i.e. BARS351I and BARS352I, differing from each other in having one or two antenna design (fig. 2 and Fig. 3).

Both level meters have virtually identical electronics modules mounted in a casing with the type of explosion safety described as “explosion proof envelope”. In the meantime the single antenna instrument is preferable for the tanks with a small diameter connection pipe (150 mm), while the two antenna instrument is best suited for operation with the products having a weak reflectivity and the products capable of causing deposition on the antenna surfaces. Therefore, the two instruments successfully complement each other in terms of operating qualities. To protect them from possible unfavorable effect of the tank atmosphere, the level meter antennae are manufactured from the materials which are resistant to aggressive effects, i.e. stainless steel and fluoroplastics. For the tanks with extra narrow connection pipes (50 mm) an option of the BARS351I instrument is provided which features a rod antenna (Fig. 4). At the present time the companies in the oil producing and oil refining sector, as a rule, use a great variety of existing tanks (vertical, horizontal, globular) which feature as many different designs of connection pipes, hatches and filler necks on which level meters can be mounted. In order to ensure maximum flexibility in adapting the instruments to specific applications, the modular principle of building up the level meters is used, whereby a single common electronics processing module is equipped with a set of various antenna devices with waveguide extensions and various installation flanges (Fig. 5). However, each instrument is manufactured individually, taking into consideration the features of the working tank based on the data provided by the customer.

Such an approach to the design of the radar instruments has completely justified itself in practice since it allows the level meter to be adapted practically to any size of the suitable connection pipe and thus meet the requests and requirements of the overwhelming majority of customers.

A no less important consideration with respect to the use of the new instruments is the simplicity and the accessibility of their installation and adjustment on project sites to the companies' in-house instrumentation personnel. The installation of the instruments on the tank is based on the regular recommendations and is implemented with the requirements to installation and connection of the explosion safe electric equipment (Fig. 6) to be complied with. Each level meter is provided with software for start-up and commissioning, for the instrument adjustment to the parameters of a specific tank and for taking single point working readings. The specifications of the level meters allow them to be connected to a number of external devices designed to handle a wide range of operating tasks. In order to expand the functional and user qualities of the instruments, special purpose secondary equipment has been designed, i.e. secondary transducer UVP-01, control and management module BUK-01 (for single point and multi-point measurements respectively). The secondary equipment provides the indication of the readings, allows data archives to be created and volumes of the products under control to be accounted



Рис.5 Различные исполнения радарных уровнемеров, приспособленные к конкретным применениям
Fig. 5 Various Options of the Radar Level Meters Adapted To Specific Applications

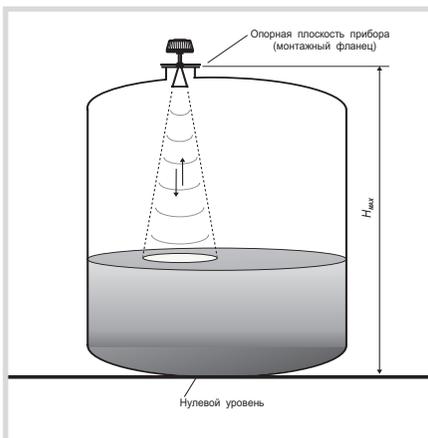


Рис.7 Условия правильного монтажа радарного уровнемера на резервуаре
Fig. 7 Conditions for Correct Installation of the Radar Level Meter on the Tank

for according to tank calibration tables. Our own software is also available in order to create a control system to manage tank farms based on a group of level meters as initial level sensors.

Modern tank farms constitute a complex infrastructure consisting of equipment and facilities which ensure storage and conveyance of various types of liquid products. Proximity (non-contacting) principle of measurements and universality of the radio echo measuring devices with respect to the products under control are best placed to handle the tasks of organizing automated accounting and management at large tank farms with dozens of tanks. The software for the automatic control system (applicable to BARS level meters) allows the operator to have a complete overview of the tank farm status in real time with a detailed display of the product movement through individual vessels. The measuring information regarding the tanks is presented to the operator in the most convenient format and contains visual graphics. It is possible to view the archives for each tank as well as to create reports both for the shift and in terms of the time parameters specified by the operator.

For the purpose of hooking the level meters with a PC, of integrating them into the automatic control systems for the management of a production process or for the hook-up with secondary transducers, there is a digital output RS-485 available. For connection to conventional analogue registers (which are still often used at the project sites), there is an additional output available for the 4...20 mA signal. However, one has to take into account the fact that the level measuring accuracy when using the analogue output is relatively low and amounts to 0.17%. From the point of view of the measuring task, the key condition for correct installation of the level meters is the lack of foreign items (elements of the vessel internal design, those of the mixer, pipes, steps, product flows) within the range of the antenna radiation pattern (Fig. 7). Such objects have an interfering effect on the process of measurements (there appear parasite reflected signals) and lead to deterioration of accuracy.

The instruments have been found to be applicable to different products: oil, furnace oil, diesel fuel, gasoline, bitumen, as well as to petrochemical products: lacquers and paints, spirits and solvents. The level meters are installed on the vessels of various designs: on horizontally standing vessels, diameter 3.5 m, and on vertically standing vessels, up to 12 m high (in principle it is possible to use the instruments on higher vessels).

The use of modern circuitry principles and signal processing in the level meters has not only allowed high metrological performance to be implemented in them but also, based on the positive test results, it has allowed the instruments to be metrologically certified and placed on the State Register of Measuring Devices.

The BARS3511 instrument has been awarded the diploma of the "100 Best Goods in Russia" Program for 2007.

Owing to their universal capabilities, the proximity radio echo level meters function reliably in most various applications. The prospects for the use of radio echo method for modern level measuring needs find actual confirmation in the gradual replacement of the conventional contact-type measuring devices with the ones under discussion here.

радиолокационных измерителей по отношению к контролируемым продуктам как нельзя лучше подходят для решения задач организации автоматизированного учета и управления на крупных резервуарных хозяйствах с десятками резервуаров. Программное обеспечение АСУ (применительно к уровнемерам БАРС) позволяет оператору иметь полный обзор состояния резервуарного парка в реальном масштабе времени с детальной визуализацией движения продукта по отдельным емкостям. Измерительная информация по резервуарам представляется в наиболее удобной для оператора форме и содержит наглядную графику. Возможен просмотр архивов по каждому резервуару, а также формирование отчетов как за смену, так и по временным параметрам, задаваемым оператором.

Для подключения уровнемеров к персональному компьютеру, интегрирования в системы АСУТП или подключению ко вторичным преобразователям служит цифровой выход (RS-485). Для подключения к традиционным аналоговым регистраторам (еще часто встречающимся на объектах) предусмотрен дополнительный выход сигнала 4...20 мА. Однако, необходимо учитывать, что точность измерений уровня при использовании аналогового выхода относительно невысока и составляет 0,17%.

С точки зрения измерительной задачи основным условием правильного монтажа уровнемеров является отсутствие посторонних предметов (элементы внутренней конструкции резервуара, мешалки, трубопроводы, лестницы, потоки продукта) в пределах диаграммы

направленности антенн (рис.7). Подобные предметы оказывают мешающее действие на процесс измерений (появляются паразитные отраженные сигналы) и приводят к снижению точности.

Приборы показали применимость к различным продуктам: нефть, мазут, дизтопливо, бензин, битум, а также продуктам нефтехимии: лакокрасочным изделиям, спиртам и растворителям. Монтаж измерителей производился на резервуарах различных конструкций: на РГС с диаметром 3,5 м и на РВС с высотой до 12 м (принципиально возможно применение приборов и на более высоких резервуарах).

Использование в измерителях уровня современных принципов схемотехники и обработки сигналов позволило не только реализовать в них высокие метрологические показатели, но и на основе положительных результатов испытаний осуществить метрологическую сертификацию приборов с внесением их в Государственный реестр средств измерений.

Прибор БАРС351И отмечен дипломом программы «100 лучших товаров России» за 2007 г.

Благодаря своим универсальным возможностям, бесконтактные радиолокационные уровнемеры надежно функционируют в самых разнообразных условиях применения. Перспективы использования радиолокационного метода в современных задачах измерения уровня находят реальное подтверждение в постепенной замене подобными приборами традиционных контактных измерителей. ■

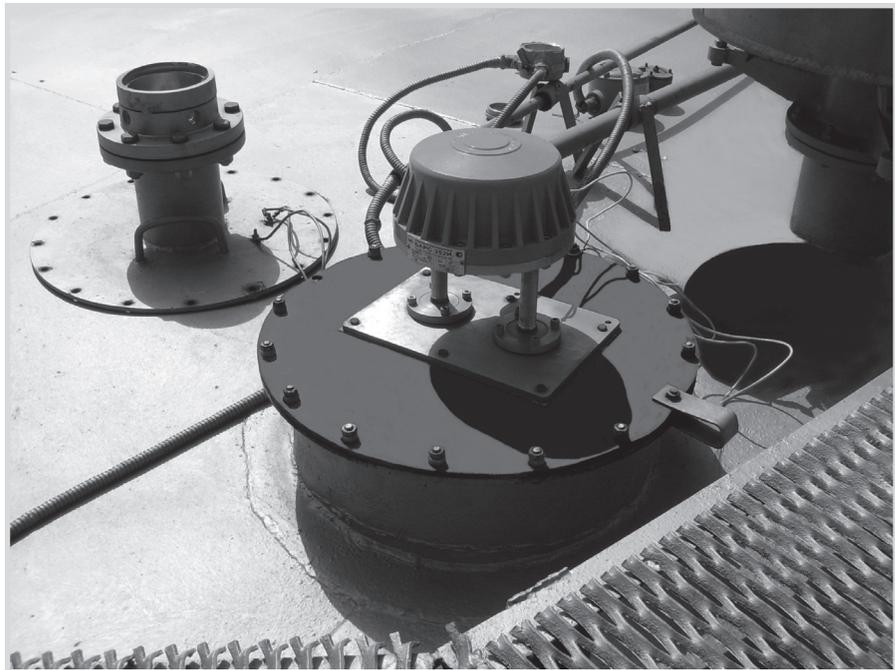


Рис.6 Монтаж уровнемера БАРС352И на резервуаре РВС-1000
Fig. 6 Installation of the BARS352I Level Meter on the Vertically Standing Tank-1000