

## ШИРОКОДИАПАЗОННЫЙ ДИСКРЕТНО-НЕПРЕРЫВНЫЙ ДАТЧИК УРОВНЯ

А.Г. ГОДНЕВ, доц., вед. научн. сотрудник ООО «НТЦ ИИТ» канд. техн. наук

*ntc-korolev@yandex.ru*

ООО «Научно-технический центр информационно-измерительной техники»,  
141070, Московская область, г. Королев, ул. Пионерская, д. 2

Широкодиапазонный дискретно-непрерывный уровнемер со штангой с автокалибровкой предназначен для измерения уровня светлых нефтепродуктов и масел в диапазоне от 0 до 20 м с погрешностью измерения  $\pm 1$  мм. Отличительной особенностью разработанного дискретно-непрерывного уровнемера является то, что контроль точности измерения осуществляется равномерно в пределах всего диапазона измерения уровня контролируемой жидкости и обеспечена возможность контроля точности в каждом цикле измерений, т. е. в процессе эксплуатации без создания специальных условий. Увеличение числа реперных точек существенно повышает метрологическую надежность емкостного уровнемера и снижает риск недостоверных измерений.

Ключевые слова: датчик уровня емкостной, дискретно-непрерывный, широкодиапазонный.

В информационно-измерительной системе учета нефтепродуктов датчик уровня играет одну из ключевых ролей. Абсолютная погрешность измерения в динамическом диапазоне от 0 до 20 м не должна превышать значения  $\pm 1$  мм, что соответствует относительной погрешности  $\pm 5 \times 10^{-3} \%$ . Создание такого уровнемера, работающего в температурном диапазоне от  $-50$  до  $+50^\circ\text{C}$ , представляет собой достаточно сложную научно-техническую задачу. Широкое многообразие существующих в мире конструкций уровнемеров не всегда отвечает жестким требованиям их эксплуатации на территории РФ. Либо очень высокая цена приобретения и эксплуатации, либо узкий температурный диапазон (поплавковые уровнемеры), либо невысокая точность измерения уровня в большом динамическом диапазоне датчики уровня на основе гидростатики.

Как показывает опыт отечественного и зарубежного приборостроения, перспективными для измерения широкого круга физических величин являются емкостные датчики, отличающиеся высоким эксплуатационными характеристиками, надежностью, простотой и технологичностью изготовления наряду с невысокой конечной стоимостью. При разработке уровнемера для системы учета нефтепродуктов УИП-9602 была сформулирована главная задача обеспечить абсолютную погрешность измерения уровня  $\pm 1$  мм в динамическом диапазоне 0 – 20 м при минимальных затратах ресурсов.

На практике наибольшее распространение получил емкостной датчик уровня сис-

темы УИП-9602 [2]. Данный датчик сконструирован на основе двухсторонней печатной платы, на которой методом фотолитографии с высокой точностью сформированы чувствительные элементы емкостных датчиков, емкостные эталонные концевые меры, а также все коммуникационные линии связи (рис. 1).

Емкостной уровнемер состоит из штанги 1 с автономными емкостными датчиками уровня 2, и последовательно включенных блока преобразователей 3, и вычислительного блока 4. Блок преобразователей 3 включает преобразователь емкость-напряжение 5 и микропроцессорный блок 6. Вычислительный блок 4 имеет канал вычисления уровня подтоварной воды (льда) 7, а также канал встроенных средств контроля 8. Автономные датчики уровня 2 состоят из входных 9 и одного общего выходного 10 электродов. Количество равномерно распределенных по высоте резервуара автономных емкостных датчиков уровня 2 кратно количеству входных электродов 9 в каждой секции 11. Входные электроды 9 (рис. 4) и выходные электроды 10 гальваническим способом нанесены на печатные платы 12 и 13 соответственно. И таким образом, боковой зазор 14 между входными электродами 9 и выходным электродом 10 является рабочим зазором автономных емкостных датчиков уровня 2. Он определяет величину электрической емкости между ними и может меняться в зависимости от размеров входных и выходных электродов. Между входными электродами 9 введены зазоры 15, играющие роль реперных точек для встроен-

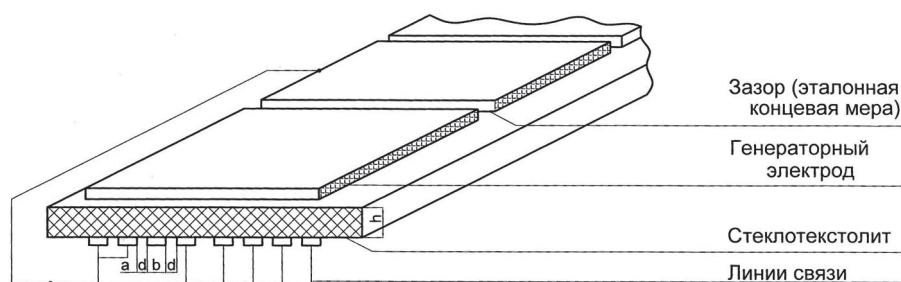


Рис. 1. Фрагмент генераторного электрода в разрезе с линиями связи

Fig. 1. Fragment Generator and electrode section with links

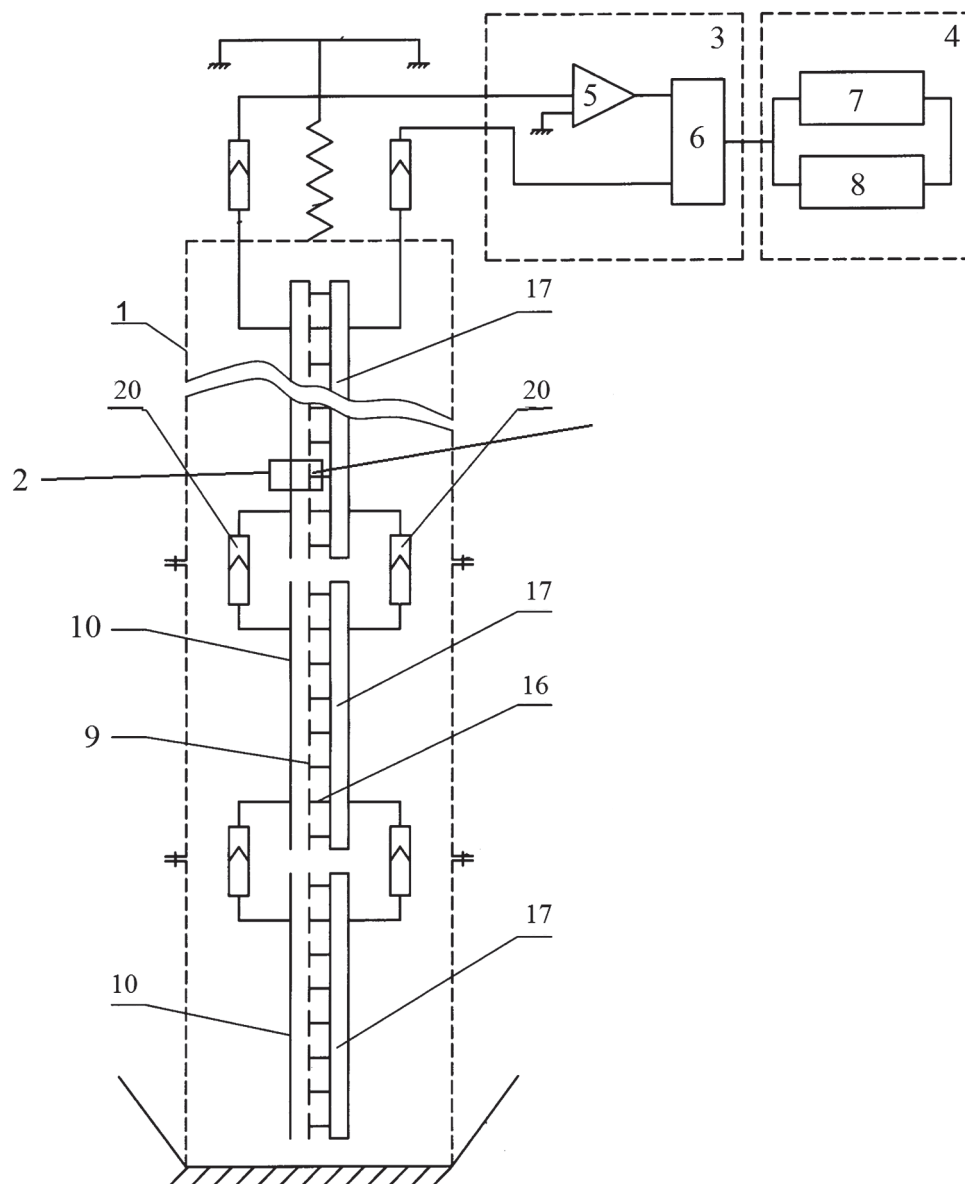


Рис. 2. Структурная схема конструкции емкостного уровнемера со штангой

Fig. 2. Block diagram of the structure of the capacitive transmitter to the pole

ных средств контроля. На обратной стороне печатной платы 13 расположены входные электрические шины 16. На этой же стороне расположены коммутаторы импульсов опроса

17 автономных емкостных датчиков уровня 2. Коммутаторы импульсов опроса 17 могут быть выполнены в виде дешифраторов, коммутирующих импульсы опроса по всем вход-

ным электродам 9 последовательно по времени, или на регистрах сдвига, выполняющих ту же функцию. Профили 18, являющиеся одновременно несущими элементами конструкции, являются также экранами для электрических полей и наводок, так как между обратными сторонами печатных плат 12 и 13 и внутренней поверхностью профилей 18 предусмотрены экранирующие зазоры 19, уменьшающие электрическую нагрузку на входные электроды 9 и выходные электроды 10. Величина нагрузочной (паразитной) емкости на выходной электрод 10 непосредственно влияет на коэффициент передачи преобразователя емкость–напряжение 5 и является одним из основных факторов, уменьшающих точность измерения. Величина нагрузочной емкости на выходные электроды 10 сказывается на форме импульсов опроса, отклонение которых от прямоугольной формы приводит к снижению точности измерений. Поэтому в данном случае оптимальный подбор экранного зазора 19 осуществляется таким образом, чтобы величина емкости была не более 2000,0 Пф.

Величина экранного зазора 19 находится в пределах 18,0–27,0 мм. Блок преобразователей 3, включающий преобразователь емкости напряжения 5 и микропроцессорный блок 6, формирует управляющие сигналы для коммутаторов импульсов опроса 17 и обеспечивает передачу в цифровом виде данных от блока преобразователей 3 в вычислительный блок 4. В вычислительном блоке 4 имеется канал вычисления уровня разлива нефтепродукта и подтоварной воды (льда) 7 и канал вычисления средств контроля 8, который вычисляет координату зазора 15 между смежными входными электродами 9 и выделяет момент времени, когда уровень нефтепродукта находится в пределах этого зазора. Через разъемные электрические соединения 20 осуществляется электрическая связь между секциями 11, и между платами через перемычки, монтируемые в процессе изготовления секций 11.

Емкостной уровнемер работает следующим образом. Микропроцессорный блок 6 по заданной программе вырабатывает сигналы, управляющие коммутатором импульсов

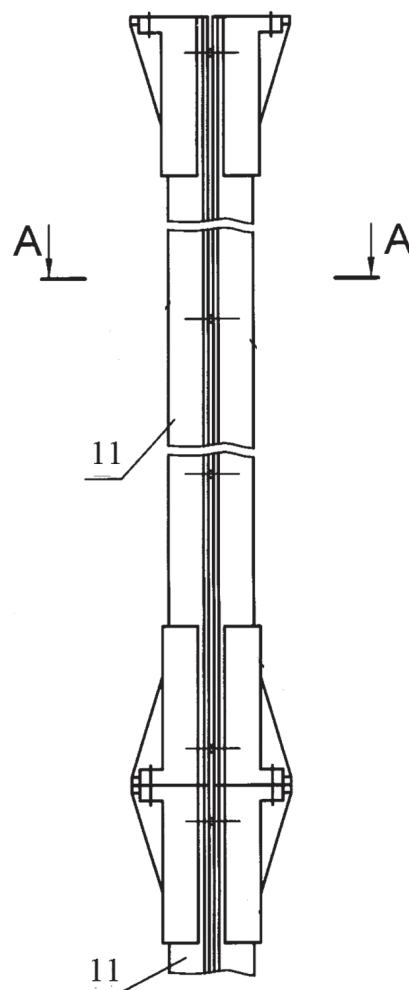


Рис. 3. Штанга  
Fig. 3. Rod

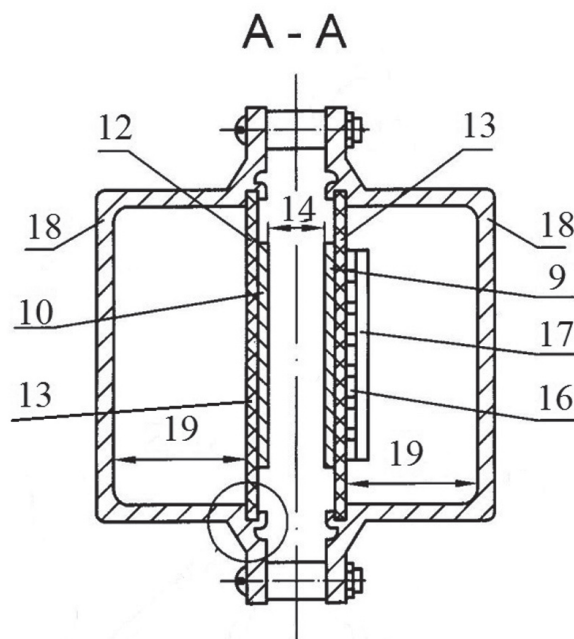


Рис. 4. Сечение штанги  
Fig. 4. The cross section of the rod

опроса 17. Коммутаторы импульсов опроса 17 последовательно во времени формируют импульсные сигналы для опроса состояния автономных емкостных датчиков уровня 2. Опрос состояния автономных емкостных датчиков уровня 2 осуществляется путем подачи импульсного сигнала на соответствующий входной электрод 9. Опрос начинается с первого (считая снизу) автономного емкостного датчика уровня 2 и заканчивают последним (верхним) автономным емкостным датчиком уровня 2. В автономных емкостных датчиках уровня 2 информационным параметром является величина электрической емкости между входным 9 и выходным 10 электродами, т. е. по величине электрической емкости автономного датчика уровня 2 судят о степени его заполнения нефтепродуктом. Измерение электрической емкости обусловлено тем, что диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  контролируемого нефтепродукта отличается от диэлектрической проницаемости воздуха. При этом в пределах диапазона измерения автономный емкостной датчик уровня 2 работает как непрерывный емкостной датчик. Импульсы опроса, поступающие на входные электроды 9, далее поступают на выходной электрод 10, и в виде последовательности импульсов поступают на преобразователь емкость–напряжение 5. С выхода преобразователя емкость–напряжение 5 сигнал в виде импульсов напряжения поступает в микропроцессорный блок 6, где преобразуется в соответствующие кодовые посылки. Таким образом, на выходе микропроцессорного блока 6 и на выходе вычислительного блока 4 за один цикл опроса присутствует вся информация о состоянии каждого автономного емкостного датчика уровня 2. Среди последовательности импульсов  $A_i$  ( $i = 1 - n$ , где  $n$  – количество входных электродов 9), характеризующих состояние каждого автономного емкостного датчика уровня 2, существует три группы, отличающиеся своим физическим состоянием. Первая группа соответствует полностью замоченным жидкостью емкостным датчиком уровня, вторая – частично замоченным и третья – полностью сухим.

Для автономного емкостного датчика уровня 2 мокрое состояние  $AM_i$  отличается от

сухого состояния  $AS_i$  в  $\epsilon$  раз, где  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость контролируемой жидкости:  $AM_i = \epsilon \times AS_i$ .

Для частично замоченных емкостных датчиков уровня, находящихся на границе раздела сред, значение  $A_i$  находится в диапазоне значений  $[AS_i, AM_i]$ . Для выделения рабочих автономных емкостных датчиков уровня 2 из всей совокупности вводится пороговое значение для каждого автономного емкостного датчика уровня 2

$$P_i = (AS_i + AM_i)/2.$$

Все емкостные датчики уровня 2, для которых выполняется соответствующие  $A_i \geq P_i$ , являются полностью мокрыми, за исключением  $i$ -го и  $i+1$  автономных емкостных датчиков уровня, один из которых может быть частично замоченным, а второй полностью сухим или полностью мокрым, в зависимости от взаимного расположения зеркала контролируемой жидкости и входных электродов 9 этих автономных емкостных датчиков уровня 2. Все остальные датчики уровня от  $i+2$  до  $n$  являются полностью сухими.

Автономные емкостные датчики уровня 2, которые могут быть частично замоченными, назовем первым и вторым рабочими датчиками в порядке возрастания их номеров (снизу вверх) и обозначим соответственно  $R1$  и  $R2$ . В вычислительном блоке 4 в канале вычисления уровня 7 осуществляется вычисление точной границы раздела сред, т. е. уровня жидкости в резервуаре. Вычисление производится по формуле

$$H = L_0 \times (i - 1) + h1 + h2,$$

где  $H$  – уровень жидкости в резервуаре;

$L_0$  – длина входного электрода, включая зазор 15;

$h1$  – расчетная длина погружения в контролируемую жидкость первого рабочего датчика  $R1$ ;

$h2$  – расчетная длина погруженного в контролируемую жидкость второго рабочего датчика  $R2$ .

Величины  $h1$  и  $h2$  рассчитываются по формулам

$$h1 = (A_i - AS_i) \text{КП}_i; h2 = (A_{i+1} - AS_{i+1}) \text{КП}_{i+1};$$

$$\text{КП}_i = (A_i \epsilon - AS_i) L_0; \epsilon = (A_{i+1} - AS_{i+1}) AS_{i+1}.$$