

DOI 10.53364/24138614_2022_25_2_111
УДК 621.183.31

¹Смирнов А. П., ²Риттер Д. В., ³Савостин А. А., ⁴Риттер Е.С.
Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева, РК., г. Петропавловск.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ В ПАРОВЫХ КОТЛАХ

БУ ҚАЗАНДЫҚТАРЫНДА СҰЙЫҚТЫҚ ДЕҢГЕЙІН ӨЛШЕУДІҢ ПОТЕНЦИОМЕТРИЯЛЫҚ ДАТЧИКТЕРІН ҚОЛДАНУ

APPLICATION OF POTENTIOMETRIC SENSORS FOR MEASURING LIQUID LEVEL IN STEAM BOILERS

¹E-mail: gprsboost03@mail.ru

²E-mail: dritter@mail.ru

³E-mail: alexey.savostin@gmail.com

⁴E-mail: kritter315@gmail.com

Аннотация. Целью исследования является анализ состояния рынка измерителей уровня жидкости, используемых в настоящее время в паровых котлах, определение их сильных и слабых сторон, а также поиск и предложение новых типов измерителей уровня жидкости, пригодных для применения в паровых котлах.

В статье рассмотрены различия между различными типами измерителей, таких как гидростатический, емкостной, магнитострикционный, байпасный. Рассмотрены их преимущества и недостатки для измерения уровня жидкости при использовании в паровых котлах. Определены основные требования к измерителям уровня жидкости для применения в паровых котлах. Также рассмотрен принцип действия потенциометрического измерителя уровня и влияние параметров среды на его показания. Исходя из обобщения полученных сведений, предложен новый тип измерителя уровня жидкости, который был запатентован в 2019 г. и который удовлетворяет необходимым требованиям, а также предложена к применению конкретная модель измерителя, выпускаемая промышленностью.

Ключевые слова: паровой котел, пар, вода, тепло, давление, температура, энергетика, измеритель уровня жидкости, потенциометрической метод.

Аңдатпа. Зерттеудің мақсаты қазіргі уақытта бу қазандықтарында қолданылатын сұйықтық деңгейінің өлшегіштері нарығының жай-күйін талдау, олардың күшті және әлсіз жақтарын анықтау, сондай-ақ бу қазандықтарында қолдануға жарамды сұйықтық деңгейінің өлшегіштерінің жаңа түрлерін іздеу және ұсыну болып табылады.

Бұл мақалада гидростатикалық, сыйымдылықты, магнитострикциялы, байпас сияқты әртүрлі өлшегіштер арасындағы айырмашылықтар қарастырылған. Бу қазандықтарында қолданған кезде сұйықтық деңгейін өлшеу үшін олардың артықшылықтары мен кемшіліктері қарастырылған. Бу қазандықтарында қолдануға арналған сұйықтық деңгейін өлшегіштерге қойылатын негізгі талаптар анықталды. Сондай-ақ, потенциометриялық деңгей өлшегішінің жұмыс принципі және қоршаған орта параметрлерінің оның көрсеткіштеріне әсері қарастырылады. Алынған ақпаратты жалпылауға сүйене отырып, қажетті талаптарға жауап беретін сұйықтық деңгейінің өлшегішінің жаңа түрі ұсынылады, сонымен қатар өнеркәсіп шығаратын өлшегіштің нақты моделін қолдану ұсынылады.

Түйін сөздер: бу қазандығы, бу, су, жылу, қысым, температура, энергетика, сұйықтық деңгейінің өлшегіші, потенциометриялық әдіс.

Annotation. The goal of the this research is to analyze of currently used liquid level meters in steam boilers, determine their strengths and weaknesses, as well as search and offer new types of liquid level meters suitable for use in steam boilers.

This article looks for the differences between the various types of meters such as hydrostatic, capacitive, magnetostrictive, bypass. It's considers advantages and weakness for measuring the liquid level when used in steam boilers. The basic requirements for liquid level meters for use in steam boilers have been determined. Also there were considered the principle of operation of a potentiometric level meter and the influence of environmental parameters on its measurement. Based on the generalization of obtained information, a new type of liquid level meter has been offered that patented in 2019 year and meets the necessary requirements, and was offered a specific model of the meter produced by the industry.

Key words: steam boiler, steam, water, heat, pressure, temperature, energy, liquid level meter, potentiometric method.

Введение. Измерение уровня - одно из измерений «большой четверки» на промышленных предприятиях, оно столь же важно, как измерение расхода, давления и температуры. Рынок устройств для измерения уровня в 2014 году оценивался в 1,32 миллиарда долларов США [1]. Примерно 12% всех измерений в промышленности используются для измерения уровня. Оценка рынка включала устройства измерения уровня, которые измеряют непрерывный уровень жидкости или твердых веществ в резервуаре, а также устройства контроля предельного уровня, которые измеряют уровень жидкостей или твердых веществ в одной или нескольких точках резервуара.

Паровые котлы используются для создания пара с более высоким давлением, чем в атмосферных условиях. Высокая температура жидкостей увеличивает энергосодержание пара и давление в котле. В основном существует два типа паровых котлов: водотрубные котлы и котлы с кожухом. Паровые котлы используются практически во всех областях промышленности. Использование пара в качестве энергоносителя особенно распространено на электростанциях, нефтеперерабатывающих и химических заводах. Паровые котлы также жизненно важны для пищевой, текстильной и многих других отраслей промышленности.

Уровень в паровом котле - очень важное и сложное измерение. Контроль уровня воды в котле должен быть точным. Слишком высокий уровень воды может привести к уходу воды в паропровод. Слишком низкий уровень может обнажить генерирующие трубы, не давая воде в котле охладить трубы печи, что может привести к их повреждению. Несколько факторов затрудняют получение этого измерения. Сам паровой котел может быть не идеально выровнен, и даже в условиях устойчивого состояния значительная турбулентность в барабане может вызвать колебания уровня. Кроме того, изменение скорости притока воды и оттока пара увеличивает вероятность ошибки измерения. При измерении уровня в паровом барабане котла необходимо учитывать определенные физические свойства жидкости.

- Паровой котел содержит двухфазную смесь воды и пара в условиях насыщения.
- Плотность воды и пара зависит от температуры или давления насыщения.
- Необходимо учитывать плотность насыщенного пара над водой, а также плотность насыщенной воды в барабане.

В экстремальных условиях процесса измерение уровня в паровых котлах предъявляет строгие требования к технологии измерения технологического процесса. В зависимости от типа используемого котла и того, как он работает, типичные значения параметров процесса могут достигать 300°C и 100 бар, а часто и значительно выше. Плотность жидкости зависит от температуры. Это искажает значение, возвращаемое традиционными методами измерения, зависящими от плотности, такими как буйки, поплавковые датчики или датчики перепада

давления, и отображаемое значение является слишком низким. Поэтому проблема измерения уровня жидкости в паровых котлах стоит остро и необходим поиск новых типов измерителей уровня.

Анализ недостатков существующих измерителей уровня

Рассмотрим 4 наиболее распространенных датчика уровня, которые используются и по своим параметрам подходят к использованию в паровых котлах различных модификаций и мощностей в условиях контролируемой среды: взрывоопасность, давление, абразивные свойства, вязкость, высокая температура, химическая агрессивность, электрическая проводимость и прочие, а также определим сильные и слабые стороны при использовании в паровых котлах.

Гидростатический датчик уровня LMP-331i. Датчик измерения уровня жидкости LMP-331i используется для измерения уровня в котлах и промышленных емкостях [2].

Цена гидростатических датчиков уровня относительно низкая, эти приборы надежны, обладают защитными функциями по короткому замыканию и перепадам напряжения, а так же прочной конструкцией.

Гидростатический датчик уровня основан на принципе измерения гидростатического давления, которое оказывает жидкость в объеме измеряемого резервуара [3, С. 51 – 70; 4, С. 48 – 50; 5, С. 8 – 11]. Давление зависит от плотности жидкости и высоты столба этой жидкости над датчиком.

Поскольку гидростатическое давление зависит от значения уровня жидкости и ее плотности, то точная величина измерения датчика возможна лишь для жидкостей с постоянной плотностью.

Емкостной измеритель уровня NivoCAP CT-200. Датчик уровня NivoCAP CT-200 предназначен для непрерывного измерения значения уровня жидкостей в паровых котлах и промышленных емкостях [6].

Датчики емкостного типа основываются на принципе соотношения электрических свойств воздушного пространства над средой измерения и самой средой [3, с. 71; 4, С. 51 – 63]. Электрод датчика помещается в среду для определения ее электрической емкости, вторичный преобразователь находится снаружи и производит преобразование ёмкости электрода в стандартный измерительный сигнал. Уровень жидкостного столба вычисляется по результатам этих измерений и передается датчиком в виде аналогового выходного сигнала (4 – 20 мА или 0 – 10В).

Недостатки емкостных измерителей уровня жидкости: зависимость точности измерений от температуры среды, необходимость использования токов высокой частоты при измерении емкости.

Магнотстрикционный уровнемер MAGNODUL FFG-P.2XXX. Датчик уровня MAGNODUL FFG-P.2XXX используется для измерения уровня жидкостных сред в паровых котлах, в емкостях и резервуарах различного типа. Может применяться в агрессивных средах, имеет взрывобезопасное и обычное исполнение. Точность измерения может достигать долей миллиметра [7].

Внутри трубки датчика проложен провод из магнотстрикционного материала. Периодически через провод проходит сильный импульс тока, который, в свою очередь, создает круговое магнитное поле вокруг провода. Этот импульс запускает измерение времени. Для передачи уровня используется магнит, установленный внутри поплавка. Магнитное поле намагничивает провод в этой области. Путем наложения двух магнитных полей в области поплавка создается механическая торсионная волна через провод, которая распространяется со скоростью звука, характерной для материала, в обоих направлениях (эффект Видемана). Там отражается торсионная звуковая волна, бегущая в сторону конца датчика. Звуковая волна, бегущая в направлении детектора, преобразуется в электрический сигнал, и измеряется прошедшее время. Уровень жидкости и границы раздела фаз определяется расчетом и выводится через интерфейс датчика.

Магнитострикционные уровнемеры имеют свои недостатки: турбулентность жидкости и образование волн котле влияет на точность измерений, использование поплавковой конструкции неприемлемо в жидкостях, где может образовываться отложение осадка и примесей на зонде и поплавке.

Байпасный уровнемер BNA. Если нужно визуальное наблюдение уровня жидкости, то в паровых котлах используются указатели уровня воды байпасного типа [8].

Принцип действия измерителя байпасного типа основан на принципе сообщающихся сосудов, поэтому уровень жидкости в измеряемом резервуаре пропорционален уровню в поплавковой камере [3, С. 11 – 16; 4, С. 46 – 47]. Он очень надежный в работе из-за своей простоты. Использовать байпасный уровнемер можно, если жидкостная среда имеет плотность не более 0,6 кг/дм³.

Байпасный уровнемер, по сути, является индикатором и не может передавать электрический сигнал об уровне жидкости, что является большим недостатком при автоматизации парового котла.

Результаты исследования

Традиционные датчики уровня имеют те или иные недостатки: не могут работать при высоком давлении, температуре, точность измерения зависит от характеристик измеряемой среды, зависимы от отложений среды. Все обнаруженные недостатки перечислены в таблице 1.

Таблица 1 Недостатки измерителей уровня

Название	Недостатки
LMP-331i	Нельзя применять, где есть агрессивная среда; Невысокая рабочая температура измеряемой среды (до +120°C); Нет отображения информации.
NivoCAP CT-200	Образование непроводящей пленки на электродах ухудшает измерение; Изменения электрических параметров жидкости влияет на результат измерения.
MAGNODUL FFG-P.2XXX	Низкое значение рабочего давления (до 20 бар); В средах, где может образовываться отложение примесей и осадка на зонде, применять не рекомендуется.
BNA	Невысокая точность измерения датчика; Периодически необходимо очищать поверхность от отложений при помощи сливного патрубка. Монтаж датчика только на боковую сторону резервуара; Может применяться только в невязких жидкостях; Невозможно получение выходного аналогового сигнала уровня;

Исходя из полученных результатов исследования, для использования в паровых котлах требуется применить датчик уровня жидкости, который может работать при высоком давлении и высокой температуре, независимо от изменения электрических характеристик среды измерения и нечувствительный к образованию отложение осадка и примесей на зонде. Таким датчиком является потенциометрический датчик измерения уровня электропроводящей жидкости [9]. Данный принцип измерения был запатентован фирмой Baumer Electric AG в 2019 г. [10].

Потенциометрический принцип измерения уровня может использоваться только при минимальной проводимости 1 мкСм/см для всех электропроводящих сред (например, чистой воды).

Жидкость хранится в резервуаре. Погружной зонд уровня представляет собой стержень с низким сопротивлением, концы которого питаются от генератора переменного тока, работающего в килогерцовом диапазоне частот. Между стержнем и стенкой резервуара находится электропроводная жидкость, представляющая собой бесконечное количество сопротивлений. Поскольку они подключаются к одному и тому же потенциалу (стенке резервуара), их можно представить как два эквивалентных сопротивления, R1 и R2, подключенных к воображаемой центральной точке (рисунок 1).

Между генератором и стенкой резервуара подключен усилитель, имеющий большое входное сопротивление. Поскольку генератор выдает переменный ток большого значения, он создает значительное падение напряжения на стержне с низким сопротивлением. Сопротивления R1 и R2 образуют делитель напряжения в зоне действия погруженной части стержня. Выходной сигнал этого делителя покажет половину уровня жидкости. Затем измерительная схема с микроконтроллером рассчитывает фактический уровень жидкости от 0 до 100%.

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{1}{2} \cdot L_{\text{СРЕДЫ}} \cdot U_{\text{ГЕН}}$$

Где $L_{\text{СРЕДЫ}}$ – уровень жидкости в резервуаре, %

$U_{\text{ГЕН}}$ – выходное напряжение генератора, В

Отсюда уровень жидкости в резервуаре составит

$$L_{\text{СРЕДЫ}} = 2 \cdot \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ГЕН}}} \quad (1)$$

Из формулы (1) видно, что, при $U_{\text{ГЕН}} = \text{const}$, измеренное значение уровня жидкости не зависит ни от электрических характеристик самой жидкости, ни от расположения датчика в резервуаре, а только пропорционально соответствует уровню жидкости.

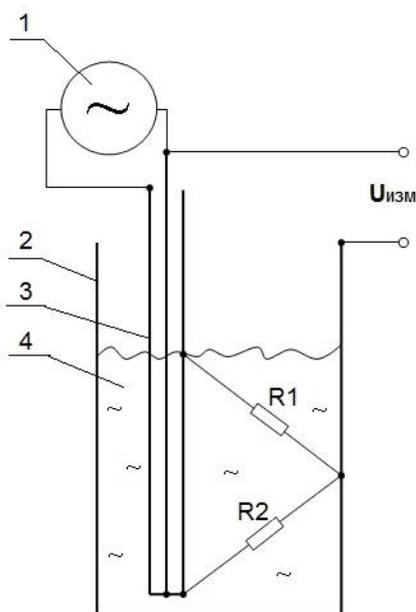
Измерение уровня нечувствительно к налипанию твердых частиц в жидкости. Очень важно, чтобы проводимость среды была однородной. В противном случае R1 не будет равно R2, и это повлияет на выходное напряжение.

Преимущества

Датчик в одностержневом варианте может использоваться сверху и, при необходимости, снизу в металлических емкостях высотой до 2 м. Изменения свойств измеряемой среды, исходя из принципа измерения, не влияют на измеряемый датчиком уровень, тогда как емкостные датчики необходимо перенастраивать при смене среды, из-за изменяющейся диэлектрической проницаемости. Минимальный коэффициент проводимости 1 пСм/см должен быть равномерно распределен в среде. Изменение проводимости также не влияет на принцип измерения. Прилипание продукта в области измерительного стержня, которые всегда вызывают проблемы с емкостными датчиками, не искажают измеренное значение с помощью потенциометрического измерительного прибора, поскольку во время измерения имеет значение только уровень, существующий в емкости

Недостатки

В однородных средах устройство работает отлично, но как только распределение проводимости в среде становится крайне неоднородным, возникает ошибка измерения. Повышение температуры самого измерительного стержня оказывает очень незначительное влияние из-за правильного выбора материала и, как правило, незначительно. Следует отметить, что проводимость среды не должна опускаться ниже определенной проводимости.



- 1 – Генератор переменного тока
- 2 – Электропроводящий резервуар с жидкостью
- 3 – Зонд измерителя уровня
- 4 – Измеряемая жидкость

$U_{изм}$ – выходное напряжение для измерения

Рисунок 1 – Принцип работы потенциметрического метода измерения

Рассмотрев преимущества и недостатки потенциметрического датчика уровня жидкости можно сделать вывод, что датчики такого типа будут хорошо работать в среде парового котла. Одним из таких датчиков может быть потенциметрический датчик уровня жидкости фирмы Gems Sensors СТ-1000. Его технические характеристики приведены в технической документации [11]. Из документации видно, что рабочая температура может достигать 200°C, а рабочее давление может достигать 150 бар.

Заключение. Точные измерения уровня и безопасность парового котла являются актуальной проблемой. Выбор технологии измерения уровня, которая может обеспечить надежность и точность на каждом этапе работы котла, имеет первостепенное значение. Понимание принципа работы измерительной техники – это первый шаг к принятию обоснованного решения.

В статье были рассмотрены четыре распространенных типов датчиков измерения уровня жидкости, пригодных для использования в паровых котлах, определены их преимущества и недостатки. Определены важные критерии выбора, по которым необходимо выбирать датчик для парового котла. Выбран потенциметрический датчик уровня жидкости, основанный на новом принципе работы. Его технические характеристики подходят для использования в паровых котлах.

Список использованных источников

1. Исследование рынка приборов измерения уровня жидкостей в технологических сосудах, емкостном оборудовании, трубопроводах и систем мониторинга трубопроводов на их основе, 2014-2017 гг. МАРКЕТИНГОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL. – https://www.megaresearch.ru/work_examples/issledovaniya/1080 (дата обращения: 25.10.2021).

2. LMP 331i: Техническая информация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL. – <https://www.pkimpex.ru/files/lmp-331i-ti.pdf> – 4 с. (дата обращения: 25.10.2021).
3. Винокуров, Б. Б. Метрология и измерительная техника. Уровнеметрия жидких сред : учебное пособие для среднего профессионального образования – Москва : Издательство Юрайт, 2020. – 187 с.
4. Дивин, А.Г. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учебное пособие. В 5 ч. / А.Г. Дивин, С.В. Пономарев, Г.В. Мозгова. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – Ч. 2. – 108 с.
5. РД 52.08.869-2017. Методика измерений уровня воды в водоемах и водотоках автоматизированными гидрологическими комплексами. – СПб: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), 2017. – 34с.
6. Руководство по эксплуатации емкостной уровнемер NivoCAP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL. – https://www.rospribor.com/_/manager/files/5bb/234f0517be/nivocap-embkostnoy-urovnever-rukovodstvo-po-ekspluatatsii.pdf – 36 с. (дата обращения: 25.10.2021).
7. Руководство по эксплуатации MAGNODUL FFG-P.2XXX [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL. – https://www.wika.kz/upload/OI_FLM_BLM_FFG_P_BP_de_en_ks_86582.pdf – 112 с. (дата обращения: 25.10.2021).
8. Байпасный уровнемер модели BNA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL. – https://www.wika.kz/upload/OI_BNA_ru_ru_79522.pdf – 22 с. (дата обращения: 25.10.2021).
9. Потенциометрические уровнемеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL. – https://rusautomation.ru/datchiki_urovnya/potenciometricheskie-urovnevery (дата обращения: 25.10.2021).
10. Пат. US20190049282A1 США, Sensor array for the potentiometric measurement of a fill level in a container [Текст]; заявитель и патентообладатель Baumer Electric AG.; опубл. Feb. 14, 2019. – 7 с.
11. Potentiometric Level Sensors CT-1000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL. – https://kodiakcontrols.com/wp-content/uploads/2016/10/gems_ct1000_sensor.pdf – 2 с. (дата обращения: 25.10.2021).

References

1. Issledovanie rynka priborov izmereniya urovnya zhidkостей v tekhnologicheskikh sosudah, embkostnom oborudovanii, truboprovodah i sistem monitoringa truboprovodov na ih osnove, 2014-2017 gg. MARKETINGOVOE ISSLEDOVANIE. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: URL. – https://www.megaresearch.ru/work_examples/issledovaniya/1080 (data obrashcheniya: 25.10.2021).
2. LMP 331i: Tekhnicheskaya informatsiya [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: URL. – <https://www.pkimpex.ru/files/lmp-331i-ti.pdf> – 4 s. (data obrashcheniya: 25.10.2021).
3. Vinokurov, B. B. Metrologiya i izmeritel'naya tekhnika. Urovnemetriya zhidkih sred : uchebnoe posobie dlya srednego professional'nogo obrazovaniya – Moskva : Izdatel'stvo YUrajt, 2020. – 187 s.
4. Divin, A.G. Metody i sredstva izmerenij, ispytaniy i kontrolya: uchebnoe posobie. V 5 ch. / A.G. Divin, S.V. Ponomarev, G.V. Mozgova. – Tambov: Izd-vo FGBOU VPO «TGTU», 2012. – CH. 2. – 108 s.
5. RD 52.08.869-2017. Metodika izmerenij urovnya vody v vodoemah i vodotokah avtomatizirovannymi gidrologicheskimi kompleksami. – SPb: Federal'naya sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchej sredy (Rosgidromet), 2017. – 34s.
6. Rukovodstvo po ekspluatatsii embkostnoj urovnever NivoCAP [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: URL. – https://www.rospribor.com/_/manager/files/5bb/234f0517be/nivocap-embkostnoy-urovnever-rukovodstvo-po-ekspluatatsii.pdf – 36 s. (data obrashcheniya: 25.10.2021).

7. Rukovodstvo po ekspluatácii MAGNODUL FFG-P.2XXX [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: URL. – https://www.wika.kz/upload/OI_FLM_BLM_FFG_P_BP_de_en_ks_86582.pdf – 112 s. (data obrashcheniya: 25.10.2021).
8. Bajpasnyj urovner modeli BNA [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: URL. – https://www.wika.kz/upload/OI_BNA_ru_ru_79522.pdf – 22 s. (data obrashcheniya: 25.10.2021).
9. Potenciometricheskie urovnemery [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: URL. – https://rusautomation.ru/datchiki_urovnya/potenciometricheskie-urovnemery (data obrashcheniya: 25.10.2021).
10. Pat. US20190049282A1 SSHA, Sensor array for the potentiometric measurement of a fill level in a container [Tekst]; zayavitel' i patentoobladatel' Baumer Electric AG.; opubl. Feb. 14 , 2019. – 7 s.
11. Potentiometric Level Sensors CT-1000 [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: URL. – https://kodiakcontrols.com/wp-content/uploads/2016/10/gems_ct1000_sensor.pdf – 2 s. (data obrashcheniya: 25.10.2021).