

Научная статья  
УДК 626/627:681.5

## О ПРИМЕНЕНИИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ

Ольга Евгеньевна Широбокова, Антон Михайлович Никитин

ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы автоматизации производственных процессов и контроля технологических параметров, а именно применение датчика, позволяющего измерять неэлектрические величины электрическим методом. Принцип работы датчика давления жидкости основан на механической деформации мембраны под воздействием давления. При увеличении давления, мембрана сжимается и изменяет свою форму. Это приводит к изменению электрического сигнала на измерительном элементе, который преобразует механическую деформацию в электрический сигнал. Затем этот сигнал передается на специальное устройство для его обработки и преобразования в конечный результат – значение давления. Основной характеристикой предложенного в работе датчика давления является его точность.

**Ключевые слова:** диэлектрический датчик давления, ёмкостные датчики, технологические параметры, механические деформации.

**Для цитирования:** Широбокова О.Е., Никитин А.М. О применении диэлектрического датчика давления // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 2 (102). С. 68-71.

Original article

## ON APPLICATION OF DIELECTRIC PRESSURE SENSOR

Ol'ga E. Shirobokova, Anton M. Nikitin

Bryansk State Agrarian University, Bryansk region, Kokino, Russia

**Abstract.** The issues of automation of production processes and control of technological parameters, namely the use of a sensor that allows measuring non-electrical quantities using an electric method, are discussed in the article. The principle of operation of the liquid pressure sensor is based on mechanical deformation of the membrane under the influence of pressure. As the pressure increases, the membrane contracts and changes its shape. This leads to a change in the electrical signal on the measuring element, which converts the mechanical deformation into an electrical signal. Then this signal is transmitted to a special device for its processing and conversion into the final result – the pressure value. The main characteristic of the pressure sensor proposed in operation is its accuracy.

**Keywords:** dielectric pressure sensor, capacitive sensors, technological parameters, mechanical deformations.

**For citation:** Shirobokova O.E., Nikitin A.M. On application of dielectric pressure sensor // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2024. 2(102). 68-71.

**Введение.** Для контроля состояния гидротехнических сооружений (ГТС), природных и техногенных воздействий, а также оценки безопасности гидротехнических сооружений, Федеральным законом от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» в редакции от 29.05.2023 № 191-ФЗ установлена необходимость проведения мониторинга технического состояния и безопасности гидросооружений [3,9].

Автоматизированные системы мониторинга ГТС позволяют контролировать ряд параметров, таких как:

- напряженно-деформированное состояние (НДС) строительных конструкций и бетона сооружения;
- пьезометрические напоры и фильтрационные расходы;
- осадками, горизонтальными смещениями сооружений и взаимными смещениями их частей, отклонение конструкций от угла нормали [3,5].

Автоматизация производственных процессов и контроля технологических параметров, а также усовершенствование техники научных экспериментов требует широкого класса совершенных первичных преобразователей, то есть разработки различных датчиков, позволяющих измерять неэлектрические величины электрическим методом [3].

Для измерения давления, характеризующего состояние системы и являющегося одной из важных технологических величин, служат датчики давления.

**Методы и материалы исследований.** В настоящее время существует большое разнообразие датчиков, отличающихся своей конструкцией. Примером могут служить датчики, основанные на сообщающихся сосудах, пьезоэффекте, прогибах мембран и др. [2,4].

Большинство перечисленных датчиков позволяет определять давление вблизи исследуемого объекта, то есть не допускает дистанционного контроля. При этом датчики имеют самые различные параметры и пределы их измерений не превышают  $1000 \text{ кг/см}^2$ .

Существуют ёмкостные датчики, основанные на изменении электроёмкости в зависимости от давления. В датчиках такого типа принципиально возможно, в качестве прокладки, использовать сегнетокерамику чистого титана бария  $\text{BaTiO}_3$ , диэлектрическая проницаемость которого убывает при одностороннем механическом сжатии [1,7,10].

На рисунке 1 показана элементарная схема датчика. В данной схеме последовательно с сегнетокерамическим конденсатором  $C_x$ , включен эталонный конденсатор  $C_0$ , с известной ёмкостью, напряжение на котором измеряется обычным вольтметром. При подаче давления ёмкость  $C_x$  уменьшается, что в свою очередь приводит к уменьшению напряжения на  $C_0$  и соответствующему изменению показаний вольтметра [6,8].

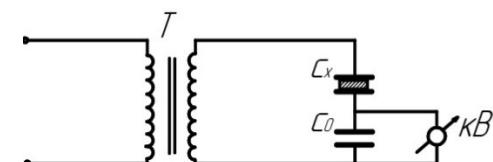


Рисунок 1 - Элементарная схема датчика

Предложенный датчик характеризуется простотой изготовления, высокой механической прочностью, хорошим воспроизведением результатов. К недостаткам можно отнести необходимость высокого напряжения для работы датчика, которое находится в пределах от 600 до 1200В, в зависимости от толщины сегнетокерамической прокладки. Пределы измерений предложенного датчика не превышают  $600 \text{ кг/см}^2$ .

Рассмотрим датчик давления, применение которого возможно для контроля технологических параметров гидротехнических сооружений.

На рисунке 2 приведена принципиальная схема для измерения давления резонансным методом. Используется конденсатор с прокладкой из сегнетокерамики  $\text{BaTiO}_3$ . Он имеет следующие размеры площадь  $S=0,25\text{см}^2$ , толщину  $\alpha=0,3\text{см}$ , закреплен в держателе и последовательно подсоединен к стандартной катушке индуктивности  $L=6 \text{ мГн}$ . На вход колебательного контура подается от генератора стандартных сигналов (ГСС) напряжение от 0,08 до 12 В, с частотой от одного до трех кГц.

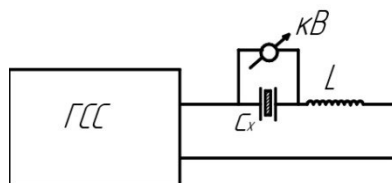


Рисунок 2 - Принципиальная схема для измерения давления резонансным методом

Индикатором служит катодный вольтметр ВЗ-6, присоединённый параллельно к сегнетокерамическому конденсатору. Термостатический подогрев образца осуществляется через латунный цилиндр с большой теплоёмкостью, который служит одновременно электродом. Температура измеряется термопарой.

На рисунке 3 показаны резонансные кривые контура с воздушным и сегнетокерамическим конденсаторами.

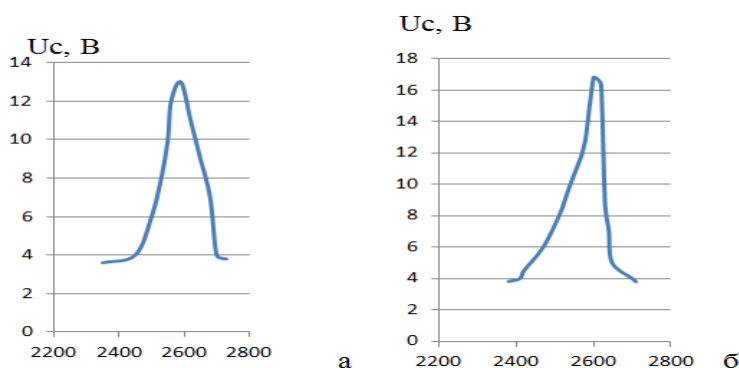


Рисунок 3 - Резонансная кривая с сегнетокерамическим конденсатором (а), с воздушным конденсатором (б)

Из рисунка 3 видно, что при замене воздушного конденсатора сегнетокерамическим, изменяется незначительно острота резонансной кривой, изменяется также полуширина резонансной кривой - она уменьшается на 20%.

Как известно, падение напряжения на конденсаторе  $U_c$  определяется зависимостью:

$$U_c = \frac{U_0}{C\omega\sqrt{(L\omega - \frac{1}{C\omega})^2 + R^2}}; \quad (1)$$

где  $U_c$ - напряжение на конденсаторе колебательного контура;

$U_0$ - напряжение на входе контура.

Вблизи резонанса  $L\omega - \frac{1}{C\omega}$  и  $(C-C_p)$  очень малые величины, где  $C_p$  – ёмкость конденсатора при резонансе.

Разлагая формулу 1 в ряд вблизи резонанса, получаем:

$$U_c = \frac{U_0}{\omega R} \left[ \frac{1}{C_p} - \frac{1}{C^2 p} (C - C_p) + \frac{1}{C^2 p} (C - C_p)^2 \dots \right] \left[ 1 - \frac{1(L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}{2R^2} \dots \right] \quad (2)$$

Ограничиваясь членами первой степени, получим:

$$U_c \cong \frac{2U_0}{\omega RC_p} - \frac{U_0}{\omega RC^2 p} \cdot C. \quad (3)$$

Из формулы (3), следует, что вблизи резонанса напряжение на конденсаторе находится в линейной зависимости от ёмкости конденсатора.

Кроме того, можно принять, что в слабых полях электроёмкость убывает с увеличением давления  $P$  по закону

$$C = C_0 - kP. \quad (4)$$

Следовательно, вблизи резонанса напряжение на конденсаторе будет меняться от давления по тому же закону

$$U_c = U_{c0} \pm kP; \quad (5)$$

По данным В.В. Кубанкина, проведшего серию экспериментов следует, что при комнатной температуре при одностороннем механическом сжатии расчетная зависимость (5) выполняется до  $P=3 \cdot 10^8$  Н/м<sup>2</sup>.

При цене деления катодного вольтметра в 0,1В погрешность измерения не превышает  $5 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>, что соответствует номинальной относительной погрешности в 2,5% и находится в пределах допустимой погрешности.

Воспроизводимость показаний, при изменении статистических или медленно меняющихся давлений допустимая. Можно измерить давление и до  $P = 3 \cdot 10^8$  Н/м<sup>2</sup>, но при этом после нескольких измерений необходимо заменить прокладку конденсатора. При повторных измерениях чувствительность датчика увеличивается и остаётся неизменной в течение всех последующих измерений. После длительного отдыха чувствительность немного уменьшается, но вновь восстанавливается после нескольких последующих измерений.

При максимальной механической нагрузке отклонение стрелки измерительного прибора составляет 60...70 % шкалы. Следовательно, подбор шкалы измерительного прибора может увеличить точность измерения давления.

Также следует отметить, что при колебаниях температуры от 10°С до 30°С стабильность показаний остаётся в пределах погрешности

**Выводы.** Достоинством данного метода измерения давления является достаточно высокий предел измерения  $P = 2 \cdot 10^8$  Н/м<sup>2</sup>, при этом не требуются высокие электрические напряжения (входное напряжение составляет доли вольта). Сегнетокерамический конденсатор обладает высокой механической прочностью и прост в изготовлении. Чувствительность  $U_c(P)$  не зависит от того, на какой ветви резонансной кривой производится измерение, только если на левой ветви (рис. 3), то с повышением давления  $U_c$  уменьшается, а если на правой, то  $U_c$  увеличивается.

Контроль над показателями состояния на большинстве ГТС до сих пор осуществляется вручную в соответствии с Программами натуральных наблюдений с применением контрольно-измерительной аппаратуры (КИА). Приведенный выше обзор оборудования для мониторинга дает представление о количестве параметров, которые необходимо контролировать во время наблюдений за состоянием ГТС и позволяет сделать вывод в пользу автоматизации проводимых наблюдений. Автоматизация мониторинга позволяет собственнику оптимизировать количество используемых материальных и человеческих ресурсов, получать достоверную информацию о состоянии гидротехниче-

ского объекта в режиме реального времени, а значит минимизировать риски возникновения ЧС и исключить сопутствующие материальные и человеческие потери.

#### Список источников

1. Гейнц Ю.Э., Минин И.В., Минин О.В. Связанные оптические резонансы в диэлектрической микросфере. Физический концепт миниатюрного оптического датчика давления // Оптика атмосферы и океана. 2022. Т. 35, № 7 (402). С. 581-588.
2. <https://monsol.ru/primenenie/baza-znaniy/poleznye-stati/oborudovanie-dlya-avtomatizirovannogo-monitoringa-gidrotehnicheskikh-sooruzheniy/>.
3. Осипов М.Н., Сергеев Р.Н., Лимов М.Д. Применение резонансного метода и метода спекл-интерферометрии для измерения динамических характеристик конструкций // Динамика и виброакустика. 2023. Т. 9, № 1. С. 33-41.
4. Смирнов В.В., Скидан А.А., Джемилев Э.Р. Применение резонансного метода передачи электроэнергии // Энергетические установки и технологии. 2020. Т. 6, № 3. С. 71-75.
5. Замеры давления в условиях агрессивных сред / А.П. Адамов, А.А. Адамова, С.Г. Семенов и др. // Надежность и качество сложных систем. 2020. № 1 (29). С. 67-75.
6. Симутин А.Н., Дейнеко А.В., Зерцалов М.Г. Опыт использования отечественной автоматизированной системы гидростатического нивелирования «монитор» при мониторинге гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2021. № 5. С. 14-19.
7. Емельянов О.А., Плотноков А.П. Определение зависимости ёмкости сегнетокерамических конденсаторов от напряжения методом импульсного разряда // Измерительная техника. 2017. № 9. С. 44-48.
8. <https://lolilu.ru/avto/membrannyi-dacik-davleniya-zidkosti-princip-raboty-primenenie-i-osobnosti>.
9. <https://normativ.kontur.ru/document>.
10. Жезмер В.Б., Матвеев А.В. Принципы обеспечения эффективной и безопасной работы ГТС гидромелиоративного комплекса // Мелиорация и водное хозяйство. 2019. № 2. С. 5-12.

#### Информация об авторах:

**О.Е. Широбокова** - кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетики и электротехнологий, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

**А.М. Никитин** - кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетики и электротехнологий, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

#### Information about the authors:

**O.E. Shirobokova** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electric Power Engineering and Electrical Engineering, Bryansk State Agrarian University.

**A.M. Nikitin** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electric Power Engineering and Electrical Engineering, Bryansk State Agrarian University.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

**Статья поступила в редакцию 28.11.2023; одобрена после рецензирования 20.03.2024, принята к публикации 26.03.2024 .**

**The article was submitted 28.11.2023; approved after reviewing 20.03.2024; accepted for publication 26.03.2024.**

© Широбокова О.Е., Никитин А.М.